

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies  
“*Tradescantia Pallida*” y “*Pelargonium Hortorum*” en suelos  
contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Por:**

Schauny Vivian Ferrua Quispe

**Asesor:**

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

**Lima, abril de 2021**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA DE LAS ESPECIES "TRADESCANTIA PALLIDA" Y "PELARGONIUM HORTORUM" EN SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO DE LA ZONA DE LAS LOMAS DE CARABAYLLO" constituye la memoria que presenta la Bachiller Schauny Vivian Ferrua Quispe para aspirar al título Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realiza en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima 13, abril del 2021.



---

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 13 días día(s) del mes de abril del año 2021 siendo las 8:30 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Ing. Nancy Curasi Rafael** y **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio** y el asesor **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación de la Capacidad Fitorremediadora de las Especies "Tradescantia Pallida" y "Pelargonium Hortorum" en suelos contaminados con Plomo de la Zona de las Lomas de Carabayllo" de el(los)/a(la)(las) bachiller(es): a) **SCHAUNY VIVIAN FERRUA QUISPE** .....

.....b) .....

.conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** .....

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **SCHAUNY VIVIAN FERRUA QUISPE** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Milda Amparo  
Cruz Huaranga



\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. Orlando Alan  
Poma Porras

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Mg. Joel Hugo  
Fernandez Rojas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Ing. Nancy Curasi  
Rafael

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Jackson Edgardo  
Perez Carpio

## **Dedicatoria**

La presente tesis la dedico en primer lugar al señor Dios quien con su bondad protegió y guio mis pasos durante cada etapa de mi vida, permitiéndome así lograr las metas propuestas . La dedico a mi mamá, mami gracias por todo el amor, enseñanzas y cuidados que me diste; a mi tía Aydee quien es una gran fuerza para mí desde que mamá no está, a mis dos papás Willy y Jhony por el amor y apoyo, a mi querida hermana Sonili quien estuvo ahí, sacándome mil y una sonrisas, gracias por cada uno de los abrazos que me das.

## **Agradecimiento**

Gracias a Dios, por permitirme llegar aquí y cumplir con esta meta. Gracias, mamá, porque sin ti no podría haberlo logrado, a mis padres por todo su amor y apoyo incondicional, a tía Aydee por estar conmigo a pesar de la distancia y de los retos que se presentaron durante el proceso, gracias por todo tu amor ; así también les agradezco el apoyo en el financiamiento de esta investigación. A mi querida hermana y amigos por sus consejos y compañía a lo largo de este trabajo. A mi estimado asesor, el Mg. Joel Hugo Fernández Rojas, por su exigencia, tiempo, palabras de aliento y paciencia brindados, orientando así mis ideas al realizar este trabajo de tesis. A los dictaminadores cuyas observaciones dadas ayudaron a mejorar diversos puntos.

## Índice general

<b>Simbología</b> .....	<b>xvi</b>
<b>Terminología</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xx</b>
<b>Summary</b> .....	<b>xxi</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>EL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3 PRESUPOSICIÓN FILOSÓFICA.....	6
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.4.1 Objetivo General .....	7
1.4.2 Objetivos Específicos .....	7
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>8</b>
<b>REVISIÓN DE LA LITERATURA</b> .....	<b>8</b>
2.1 ANTECEDENTES .....	8
2.1.1 Antecedentes Nacionales.....	8
2.1.2 Antecedentes Internacionales .....	10
2.2 MARCO LEGAL .....	13
2.2.1 Marco Legal Nacional .....	13
2.2.2 Marco Legal Internacional .....	13
2.3 SUELO.....	15
2.4 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL .....	15
2.5 CONTAMINACIÓN DEL SUELO .....	16
2.5.1 Fuentes de los Contaminantes del Suelo .....	17

2.6	MINERÍA .....	18
2.6.1	Contaminación por Minería en Perú.....	19
2.6.2	Metales Pesados .....	19
2.7	PASIVOS AMBIENTALES.....	32
2.7.1	Distrito de Carabaylo .....	33
2.8	TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS .....	36
2.9	FITORREMIACIÓN .....	38
2.9.1	Ventajas de la Fitorremediación.....	40
2.9.2	Limitaciones de la Fitorremediación .....	41
2.9.3	Mecanismos de la Fitorremediación.....	42
2.10	TOLERANCIA DE LAS PLANTAS HACIA LOS METALES PESADOS .....	48
2.11	FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LA FITORREMIACIÓN.....	49
2.11.1	La Zona de la Raíz .....	49
2.11.2	Adición de Agentes Quelantes .....	50
2.11.3	Características Químicas de los Contaminantes.....	50
2.11.4	Características del Medio .....	51
2.11.5	Condiciones Ambientales.....	51
2.11.6	Características de las Plantas.....	51
2.12	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL SUELO .....	52
2.12.1	Nivel de Contaminación del Suelo.....	52
2.12.2	Biodisponibilidad del Metal Pesado.....	52
2.12.3	Factores Físicos .....	53
2.12.4	Factores Químicos.....	53
2.12.5	Factores Biológicos.....	54
2.13	MECANISMOS DE SECUESTRO DE METALES PESADOS EN LA PLANTA.....	55
2.13.1	Plantas Hiperacumuladoras.....	55
2.14	PLANTAS ORNAMÉNTALES .....	56
2.14.1	Pelargonium Hortorum.....	56
2.14.2	Tradescantia Pallida .....	58

<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>59</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>59</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE EXPERIMENTACIÓN .....	59
3.1.1 Descripción de la Zona de Muestreo .....	59
3.2 MATERIALES DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.3 METODOLOGÍA .....	61
3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....	63
3.4.1 Etapa 1:.....	63
3.4.2 Etapa 2.....	64
3.4.3 Etapa 3.....	67
3.4.4 Etapa 4.....	68
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	68
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	69
3.7 VARIABLES DE ESTUDIO.....	69
3.8 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	70
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>72</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>72</b>
4.1 RESULTADO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO.....	72
4.2 COMPORTAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO.....	73
4.2.1 “Pelargonium Hortorum” (Geranio).....	73
4.2.2 “Tradescantia Pallida” (Barquito Morado).....	76
4.3 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.....	79
4.3.1 Análisis de las Acciones en la Raíz de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida	79
4.3.2 Análisis de las Acciones en el Tallo de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida	83
4.3.3 Análisis de las Acciones en las Hojas y Flores de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.....	87

4.3.4	Comparación en las Características en las Plantas .....	91
4.4	ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE PB.....	94
4.4.1	Pelargonium Hortorum: Análisis de remoción de Pb a los 45 días .....	94
4.4.2	Tradescantia Pallida: Análisis de Remoción de Pb a los 45 días.....	97
4.4.3	Pelargonium Hortorum: Análisis de Remoción de Pb a los 90 días .....	100
4.4.4	Tradescantia Pallida: Análisis de Remoción de Pb a los 90 días.....	103
4.4.5	Comparación entre “Pelargonium Hortorum” y “Tradescantia Pallida” a los 45 días 106	
4.4.6	Comparación entre Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida a los 90 días ...	109
4.5	ANÁLISIS DE ABSORCIÓN DE PB .....	113
4.5.1	Análisis en Pelargonium Hortorum.....	113
4.5.2	Análisis en Tradescantia Pallida.....	126
4.5.3	Comparación de Absorción de Plomo entre “Pelargonium Hortorum” y “Tradescantia Pallida”	137
4.6	RESUMEN DE REMOCIÓN Y ABSORCIÓN DE PB DE LAS ESPECIES.....	143
<b>CAPÍTULO V .....</b>		<b>144</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>144</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	144
5.2	RECOMENDACIONES .....	146
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>147</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>163</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MICRONUTRIENTES Y MACRONUTRIENTES PARA EL ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO DE LOS ORGANISMOS VIVOS.....	20
TABLA 2. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTOS EN SUELOS .....	38
TABLA 3. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA FITORREMEDIACIÓN .....	42
TABLA 4. MECANISMOS DE FITORREMEDIACIÓN DE PLOMO. ....	48
TABLA 5. PUNTOS DE MUESTREO .....	59
TABLA 6. MATERIALES EN GABINETE .....	60
TABLA 7. MATERIALES DE MUESTREO .....	60
TABLA 8. MATERIALES PARA LA SIEMBRA DE ESPECIES. ....	60
TABLA 9. RECOLECCIÓN Y TRASPLANTE DE PLANTAS.....	61
TABLA 10. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	69
TABLA 11. OPERACIÓN DE VARIABLES.....	71
TABLA 12. RESULTADO DE ANÁLISIS MECÁNICO DE SUELO .....	72
TABLA 13. RESULTADO DE ANÁLISIS FISCOQUÍMICO INICIAL DEL SUELO .....	72
TABLA 14. MODELO DEL DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LA RAÍZ DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	79
TABLA 15. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LA RAÍZ DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	80
TABLA 16. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LA RAÍZ DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	81
TABLA 17. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LA RAÍZ DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	81
TABLA 18. MÉTODO LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LA RAÍZ DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA .....	82
TABLA 19. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LA RAÍZ DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	82
TABLA 20. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN EL TALLO DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	84

TABLA 21. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN EL TALLO DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	85
TABLA 22. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN EL TALLO DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	85
TABLA 23. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN EL TALLO DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	86
TABLA 24. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LAS HOJAS Y FLORES DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA .....	87
TABLA 25. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LAS HOJAS Y FLORES DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA .....	88
TABLA 26. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LAS HOJAS Y FLORES DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	89
TABLA 27. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES LAS HOJAS Y FLORES DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	90
TABLA 28. COMPARACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS EN LAS PLANTAS A LOS 45 DÍAS .....	91
TABLA 29. COMPARACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS EN LAS PLANTAS A LOS 90 DÍAS .....	92
TABLA 30. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 45 DÍAS .....	94
TABLA 31. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 45 DÍAS .....	95
TABLA 32. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 45 DÍAS.....	96
TABLA 33. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 45 DÍAS .....	96
TABLA 34. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 45 DÍAS .....	98
TABLA 35. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 45 DÍAS .....	98
TABLA 36. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 45 DÍAS.....	99
TABLA 37. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 45 DÍAS .....	99
TABLA 38. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 90 DÍAS .....	100
TABLA 39. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 90 DÍAS .....	101

TABLA 40. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 90 DÍAS.....	102
TABLA 41. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 90 DÍAS .....	102
TABLA 42. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 90 DÍAS .....	103
TABLA 43. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 90 DÍAS .....	104
TABLA 44. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 90 DÍAS.....	104
TABLA 45. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR BARQUITO A LOS 90 DÍAS .....	105
TABLA 46. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE LA COMPARACIÓN ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA A LOS 45 DÍAS.....	106
TABLA 47. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS DE LA COMPARACIÓN ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA A LOS 90 DÍAS.....	109
TABLA 48. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS EN PARTE RADICULAR DE PELARGONIUM HORTORUM .....	114
TABLA 49. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS EN PARTE RADICULAR DE PELARGONIUM HORTORUM .....	114
TABLA 50. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS EN PARTE RADICULAR DE PELARGONIUM HORTORUM .....	115
TABLA 51. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER ANÁLISIS EN PARTE RADICULAR DE PELARGONIUM HORTORUM .....	116
TABLA 52. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS EN PARTE AÉREA DE PELARGONIUM HORTORUM .....	117
TABLA 53. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS EN PARTE AÉREA DE PELARGONIUM HORTORUM .....	118
TABLA 54. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS EN PARTE AÉREA DE PELARGONIUM HORTORUM .....	118
TABLA 55. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS EN PARTE AÉREA DE PELARGONIUM HORTORUM .....	119
TABLA 56. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA PELARGONIUM HORTORUM .....	121
TABLA 57. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA PELARGONIUM HORTORUM ...	122
TABLA 58. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA PELARGONIUM HORTORUM .....	122

TABLA 59. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA PELARGONIUM HORTORUM .....	123
TABLA 60. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS EN LA PARTE RADICULAR DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	126
TABLA 61. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS EN LA PARTE RADICULAR DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	127
TABLA 62. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS EN LA PARTE RADICULAR DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	127
TABLA 63. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS EN LA PARTE RADICULAR DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	128
TABLA 64. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS EN LA PARTE AÉREA DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	129
TABLA 65. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS EN LA PARTE AÉREA DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	130
TABLA 66. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS EN LA PARTE AÉREA DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	131
TABLA 67. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS EN LA PARTE AÉREA DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	131
TABLA 68. TEST ANOVA PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA TRADESCANTIA PALLIDA .....	133
TABLA 69. TEST SHAPIRO-WILK PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA TRADESCANTIA PALLIDA .....	133
TABLA 70. TEST HOMOGENEIDAD DE VARIANZA PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA TRADESCANTIA PALLIDA .....	134
TABLA 71. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA TRADESCANTIA PALLIDA .....	135
TABLA 72. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER DE PORCENTAJE DE ABSORCIÓN ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA .....	138
TABLA 73. RESUMEN DE REMOCIÓN Y ABSORCIÓN DE Pb .....	143

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO. ....	23
FIGURA 2. RUTAS DE CONTAMINACIÓN HUMANA POR Pb .....	28
FIGURA 3. DESTINO DE SUSTANCIAS TOXICAS EN EL CUERPO .....	30
FIGURA 4. MECANISMOS DE LA FITORREMEDIACIÓN .....	43
FIGURA 5. FITOEXTRACCIÓN .....	44
FIGURA 6. FITOVOLATIZACIÓN.....	45
FIGURA 7. FITODEGRADACIÓN .....	45
FIGURA 8. RIZOFILTRACIÓN .....	46
FIGURA 9. FITOESTABILIZACIÓN .....	47
FIGURA 10. FITOINMOVILIZACIÓN.....	47
FIGURA 11. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LA FITORREMEDIACIÓN .....	49
FIGURA 12. PLANTAS HIPERACUMULADORAS .....	55
FIGURA 13. PELARGONIUM HORTORUM .....	57
FIGURA 14. TRADESCANTIA PALLIDA .....	58
FIGURA 15. POTENCIAL DE HIDROGENO – GERANIO .....	73
FIGURA 16. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA - GERANIO.....	74
FIGURA 17. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO – GERANIO .....	75
FIGURA 18. POTENCIAL DE HIDROGENO - BARQUITO MORADO .....	76
FIGURA 19. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA - BARQUITO MORADO.....	77
FIGURA 20. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO - BARQUITO MORADO .....	78
FIGURA 21. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN LA RAÍZ DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	83
FIGURA 22. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES EN EL TALLO DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	86
FIGURA 23. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS DE LAS ACCIONES LAS HOJAS Y FLORES DE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	90
FIGURA 24 COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA PARA ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE Pb POR GERANIO A LOS 45 DÍAS .....	97

FIGURA 25. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA A LOS 45 DÍAS .....	107
FIGURA 26. COMPARACIÓN DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PLOMO ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA A LOS 45 DÍAS.....	108
FIGURA 27. COMPARACIÓN DE MEDIAS LSD DE FISHER ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA A LOS 90 DÍAS .....	111
FIGURA 28. COMPARACIÓN DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE PLOMO ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA A LOS 90 DÍAS.....	112
FIGURA 29. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS EN PARTE RADICULAR DE PELARGONIUM HORTORUM .....	116
FIGURA 30. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS EN PARTE AÉREA DE PELARGONIUM HORTORUM .....	120
FIGURA 31. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA PELARGONIUM HORTORUM .....	123
FIGURA 32. COMPARACIÓN DE LA PARTE AÉREA Y RADICULAR DEL PELARGONIUM HORTORUM .....	124
FIGURA 33. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS EN LA PARTE RADICULAR DE TRADESCANTIA PALLIDA.....	128
FIGURA 34. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS EN LA PARTE AÉREA DE TRADESCANTIA PALLIDA .....	132
FIGURA 35. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD PARA ANÁLISIS EN EL TOTAL DE LA PLANTA TRADESCANTIA PALLIDA.....	135
FIGURA 36. COMPARACIÓN DE LA PARTE AÉREA Y RADICULAR DE LA TRADESCANTIA PALLIDA.....	136
FIGURA 37. COMPARACIÓN DE MEDIAS MÉTODO LSD DE PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE PLOMO ENTRE PELARGONIUM HORTORUM Y TRADESCANTIA PALLIDA.....	138
FIGURA 38. ABSORCIÓN DE PB - PARTE RADICULAR .....	139
FIGURA 39. ABSORCIÓN DE PB - PARTE AÉREA .....	140
FIGURA 40. ABSORCIÓN DE PB - TOTAL DE LAS PLANTAS .....	142

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1. FORMATO DE OBSERVACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS TALLO - RAÍZ.....	163
ANEXO N° 2. FORMATO DE OBSERVACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS ÁREA FOLIAR – ÁREA FLORES..	164
ANEXO N° 3. FORMATO DE OBSERVACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS PLANTAS - HOJAS.....	165
ANEXO N° 4. DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS .....	166
ANEXO N° 5. MUESTREO EN PUNTO 1 .....	167
ANEXO N° 6. MUESTREO PUNTO 2 .....	167
ANEXO N° 7. MUESTREO PUNTO 3 .....	167
ANEXO N° 8. SEMBRADO DE LAS PLANTAS .....	168
ANEXO N° 9. TRASPLANTE DE LAS PLANTAS A BOLSAS.....	168
ANEXO N° 10. ACONDICIONAMIENTO DE LUGAR DE EXPERIMENTACIÓN .....	169
ANEXO N° 11. SEGUIMIENTO DE PLANTAS .....	169
ANEXO N° 12. PROCESO DE CRECIMIENTO .....	170
ANEXO N° 13. COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS .....	170
ANEXO N° 14. TRATAMIENTOS .....	170
ANEXO N° 15. MUESTRAS FINALES.....	170
ANEXO N° 16. DATOS DE DESARROLLO Y CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.....	170
ANEXO N° 17. MAPA DE UBICACIÓN DE ÁREA DE EXPERIMENTACIÓN Y PUNTOS DE MUESTREO .....	170

## **Simbología**

- BFC: Factores de bioconcentración
- CE: Conductividad Eléctrica
- CIC: Capacidad de intercambio catiónico
- ECA: Estándares de Calidad Ambiental
- EPA: US Environmental Protection Agency
- LASPAF: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes
- LMP: límites máximos permitidos
- HAPs: hidrocarburos aromáticos policíclicos
- MEM: Ministerio de Energía y Minas
- MINAM: Ministerio del Ambiente
- OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
- OMS: Organización Mundial de Salud
- SWSR: Estado del Informe Mundial sobre Recursos del Suelo
- TF: Factor de Translocación
- Pb: Plomo

## Terminología

**Absorción:** Forma de capturar los nutrientes y minerales del medio y convertirlos en compuestos orgánicos a través de procesos metabólicos. Solo las plantas (y las cianobacterias) pueden transformar los minerales en sustancias orgánicas.

**Actividades antropogénicas:** Las actividades antropogénicas son aquellas relacionadas con la influencia del hombre en la naturaleza. Los contaminantes que se producen de la acción antropogénica pueden ser orgánicos (fertilizantes o pesticidas) o de origen inorgánico, entre los que se encuentran metales pesados.

**Agentes quelantes:** Es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos.

**Biodegradable:** Que puede descomponerse en elementos químicos naturales por la acción de agentes biológicos, como el sol, el agua, las bacterias, las plantas o los animales.

**Botadero:** Es el lugar donde se disponen los residuos sólidos sin ningún tipo de control; los residuos no se compactan ni cubren diariamente y eso produce olores desagradables, gases y líquidos contaminantes

**Cadenas tróficas:** Describe el proceso de transferencia de sustancias nutritivas a través de las diferentes especies de una comunidad biológica, en la que cada una se alimenta de la precedente y es alimento de la siguiente.

**Clorosis:** La clorosis es el amarillamiento del tejido foliar causado por la falta de clorofila. Las causas posibles de la clorosis son el drenaje insuficiente, las raíces dañadas, las raíces compactadas, la alcalinidad alta y las deficiencias nutricionales de la planta.

**Elementos traza:** Son aquellos elementos que, aunque presentes en cantidades muy pequeñas, en los tejidos corporales, son nutrientes esenciales por desempeñar una serie de funciones indispensables para mantener la vida.

**Esquejes:** Los esquejes son fragmentos de las plantas separados con una finalidad reproductiva.

**Especiación química:** Como el proceso de identificación y cuantificación de las formas químicas de un mismo elemento en una muestra dada.

**Genotipo:** Conjunto de los genes que existen en el núcleo celular de cada individuo. Conjunto de los genes que existen en el núcleo celular de cada individuo.

**Fitoquelatinas:** Enzima llamada fitoquelatina sintetasa que, a su vez, forma cadenas de glutation (fitoquelatinas), que inactivan el químico y protegen al organismo vegetal.

**Fitotoxicidad:** Es un término que se emplea para describir el grado de efecto tóxico producido por un compuesto sobre el crecimiento de las plantas.

**Floema y xilema de la planta:** La xilema conduce grandes cantidades de agua y algunos compuestos inorgánicos y orgánicos desde la raíz a las hojas, mientras que el floema conduce sustancias orgánicas producidas en los lugares de síntesis, fundamentalmente en las hojas, y en las estructuras de almacenamiento, al resto de la planta.

**Lixiviados:** Líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido.

**Los estériles de minas:** Es todo material sin valor económico extraído para permitir la explotación del mineral útil.

**Pasivos ambientales:** Aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

**Parámetros geoedáficos:** Muestran la estabilidad de los compuestos metálicos, y sirven para predecir el comportamiento de los metales pesados frente a un cambio ambiental.

**Polución de suelos:** Es una degradación de la calidad del suelo asociada a la presencia de sustancias químicas.

**Procesos biogeoquímicos:** Señala los movimientos cíclicos de los elementos biológicos vitales para la vida. Geológicos porque ocurren en la tierra y la atmósfera, y químicos porque se trata de elementos naturales.

**Extractantes:** Aquel que tiene la capacidad de formar complejos orgánicos con el elemento que se desea extraer.

**Toxicidad:** Es la capacidad de una sustancia química de producir efectos perjudiciales sobre un ser vivo, al entrar en contacto con él.

**Volatilización:** Es una medida de la tendencia de una sustancia a pasar a la fase de vapor.

**Zonas industriales:** Sector que dentro de la zonificación urbana se destina de modo dominante al uso industrial.

## Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar de la Capacidad Fitorremediadora de las Especies Tradescantia Pallida y Pelargonium Hortorum en suelos contaminados con plomo (Pb). Se recolecto 72 kg de muestras de suelos proveniente de la Zona de las Lomas de Carabayllo - Lima, se realizó el análisis de contenido de Pb en el suelo y crecimiento de las plantas a los 0, 45 y 90 días de la experimentación; así también el análisis fisicoquímico del suelo y concentración de Pb en las plantas antes y después del tratamiento. Se aplicó 4 tratamientos con 3 repeticiones para cada especie de planta en un periodo de 90 días. Cada tratamiento contenía distintas concentraciones de Pb: T1 (510.28 ppm), T2 (148.35 ppm), T3 (214.96 ppm) y T4 (49.14 ppm). Se usó diseño de bloques completos al azar (DBCA) en el software R Studio. Los resultados evidenciaron que la especie Pelargonium Hortorum tuvo mayor porcentaje de remoción en el T1 (52.61%) y presento mayor absorción de Pb en la parte radicular de la planta llegando a acumular 73.43 ppm en el T1, mientras que la especie Tradescantia Pallida tuvo mayor porcentaje de remoción en el T1 (46.08 %) y presento mayor absorción de Pb en la parte radicular acumulando 56.55 ppm en el T1. Se observó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos. Se concluye que las especies Tradescantia Pallida y Pelargonium Hortorum tienen capacidad fitorremediadora, siendo esta ultima la que mayor capacidad presento.

**Palabras clave:** absorción, capacidad fitorremediadora, metales pesados, pelargonium hortorum, plomo, remoción, tradescantia pallida.

## Summary

The objective of the research was to evaluate the Phytoremediation Capacity of the *Tradescantia Pallida* and *Pelargonium Hortorum* species in soils contaminated with lead (Pb). 72 kg of soil samples were collected from the Lomas de Carabayllo - Lima area, the analysis of Pb content in the soil and plant growth was carried out at 0, 45 and 90 days of experimentation; as well as the physicochemical analysis of the soil and the concentration of Pb in the plants before and after the treatment. 4 treatments with 3 repetitions were applied for each plant species in a period of 90 days. Each treatment contained different concentrations of Pb: T1 (510.28 ppm), T2 (148.35 ppm), T3 (214.96 ppm) and T4 (49.14 ppm). Randomized complete block design (DBCA) was used in R Studio software. The results showed that the *Pelargonium Hortorum* species had a higher removal percentage in T1 (52.61%) and presented higher Pb absorption in the root part of the plant, accumulating 73.43 ppm in T1, while the *Tradescantia Pallida* species had higher removal percentage in T1 (46.08%) and presented higher absorption of Pb in the root part accumulating 56.55 ppm in T1. A significant difference ( $p < 0.05$ ) was observed between the treatments. It is concluded that the species *Tradescantia Pallida* and *Pelargonium Hortorum* have phytoremediation capacity, the latter being the one with the greatest capacity.

**Keywords:** absorption, phytoremediation capacity, heavy metals, *pelargonium hortorum*, lead, removal, *tradescantia pallida*

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1 Identificación del Problema

Cuando pensamos en contaminación, a menudo pensamos en términos del aire o el agua, sin embargo, hay un factor importante que se pasa por alto, la contaminación del suelo. La contaminación del suelo ha aumentado en los últimos años debido a la industrialización y el desarrollo en las regiones urbanas, en la búsqueda de hacer la vida más rápida y fácil, así también el continuo crecimiento en la demanda de bienes producidos por el consumo masivo e indiscriminado de los recursos naturales por medio de estas industrias ha provocado la presencia de muchos metales pesados en cantidades importantes en el ambiente y especialmente los cuerpos de agua, suelo y aire (Cordero, 2015). Consecuencia de esto la mayor problemática ambiental que actualmente se viene atravesando es la contaminación de los suelos, identificada como la tercera amenaza más importante a las funciones del suelo en Europa y Eurasia, cuarta en África del Norte, quinta en Asia, séptima en Pacífico del Noroeste, octava en Norteamérica y novena en el África Sub-Sahariana y Latinoamérica (Rodríguez et al., 2019).

Una de las principales fuentes antropogénicas es la minería, derivando de ella sustancias contaminantes, dentro de las principales se encuentra el plomo, esto ocurre principalmente por la deposición de metales emitidos durante el proceso de descomposición de la amalgama y fundición de oro, ocasionando así una serie de pasivos ambientales.

Por el carácter no biodegradable de los metales, pueden ser acumulados en los sistemas de suma importancia como la agricultura, esto se dará al alcanzar niveles de metales pesados que rebasan los límites máximos permisibles causando afección la fertilidad y por lo tanto disminuyendo el rendimiento del suelo. También pueden pasar a la atmósfera por volatilización y pueden ser movilizados a las aguas superficiales o subterráneas, aumentando la contaminación del agua (Burger & Pose, 2010). Por otra parte, pueden ser absorbidos por las plantas y de esta manera incorporarse a las cadenas tróficas; incrementándose las concentraciones del contaminante a medida que ascendemos la cadena, siendo la cima el ser humano, trayendo consecuencias muy devastadoras a la salud de los seres humanos. (PRADO, 2015)

En nuestro país existe un crecimiento importante de industrias y desarrollo de las regiones urbanas producto de la vida en sociedad, y el distrito de Carabayllo no es ajeno a esto, lugar donde contamos con un elemento básico el suelo, suelo en donde están asentados diferentes grupos de poblaciones humanas. La OEFA realizó un informe de evaluación ambiental en el ámbito de la zona de Lomas de Carabayllo, distrito de Carabayllo, donde se identificó la contaminación de suelo por metales pesados que existe en dicha zona producto de la minería ilegal, causando gran preocupación la calidad de vida de la población, puesto que todos tenemos derecho de habitar un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado, adecuado para el desarrollo de vida.

Por tal razón, es necesario implementar un método que nos permita disminuir el impacto ambiental, una alternativa muy eficiente es la fitorremediación la cual permite mitigar la contaminación por metales pesados, siendo una técnica ambientalmente amigable que se enfoca en el uso de especies vegetales y la capacidad de ellas de absorber, acumular y tolerar altas concentraciones de sustancias contaminantes; ofreciendo numerosas ventajas

en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, como lo es su amplia aplicabilidad y bajo costo.

Con base en lo anterior expuesto, la presente investigación emplea dos especies ornamentales “*Tradescantia Pallida*” y “*Pelargonium Hortorum*”, por ser especies asequibles y adaptables en diversas condiciones de clima; con el objetivo de evaluar su capacidad fitorremediadora en suelos obtenidos de la zona de las Lomas de Carabayllo. Teniendo como atribución el impulsar a las actividades industriales, las refinerías, explotaciones mineras y otros; a considerar dentro de sus planes de manejo ambiental, la utilización de plantas hiperacumuladoras de metales pesados para llevar a cabo acciones de eliminación o transformación de éstos, de esta manera se busca que lugares como las Lomas de Carabayllo puedan implementar en un futuro el uso de estas dos especies, minorando el daño que pueda causar a largo plazo la presencia del plomo en sus suelos y de esta manera tener suelos limpios.

**Variables:**

- Independiente:

Especies “*Tradescantia Pallida*” y “*Pelargonium Hortorum*”.

- Dependiente:

Concentración de Pb en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo.

## 1.2 Justificación

El presente estudio de investigación tiene como finalidad valorar la acción fitorremediadora de las plantas *Tradescantia Pallida* y *Pelargonium hortorum*, en suelo contaminado con metales pesados de origen minero como plomo (Pb). A lo largo de los años la actividad minera se convirtió en uno de los principales soportes económicos para nuestro país, no obstante, inconvenientemente esta actividad beneficiosa económicamente para el país, no se lleva a cabo bajo el cumplimiento acertado de las normativas peruanas, generando así conflictos sociales y más aún ambientales en sus etapas de construcción, operación y cierre (Huerta, 2019).

La fitorremediación se constituye como una técnica de fácil ejecución, así como una alternativa viable y ecológica, llegando a ser una solución prometedora para la limpieza de sitios contaminados por una variedad de metales pesados originados por diferentes actividades de perforación, explotación, refinación, mineras, metalúrgicas y de agricultura en nuestro país, que contaminan y degradan el suelo y como consecuencia dichos suelos reducen considerablemente sus características naturales. La fitorremediación constituye además una alternativa económica para la eliminación de los metales pesados del suelo, siendo esta una de sus ventajas principales que ha causado interés en ámbitos variados.

La siguiente investigación realizara una metodología experimental, con el propósito de llegar a determinar la especie que posee mejor capacidad de acumulación de plomo, en caso de la especie *Tradescantia Pallida*, esta se usara debido a que son muy escasos los estudios científicos que se han realizado sobre esta especie como fitorremediadora, generando y difundiendo de este modo información y resultados que

permitirán el desarrollo de nuevos estudios en materia de fitorremediación en otros escenarios y lugares del país así como en futuros proyectos de fitorremediación ambiental, planes de descontaminación o recuperación de sitios contaminados con metales pesados.

Con el siguiente estudio de investigación será presentada una alternativa de descontaminación de suelos con metales pesados, a poblaciones vulnerables que están expuestas a elevadas concentraciones de metales pesados a causa de la minería, como se da el caso en las comunidades aledañas a la zona minera de Carabayllo. Haciendo uso de plantas para recuperar los suelos contaminados, se dar a conocer que no dependemos solo de procesos y métodos químicos para contrarrestar los efectos que causan la presencia de metales pesados, producto de los pasivos ambientales, sino que existen formas prácticas y naturales de aliviar la contaminación que deteriora el curso normal de los recursos. Haciendo uso de plantas para recuperar los suelos contaminados, se ayudará a contrarrestar los efectos nocivos que pueden llegar a darse por causa de los metales pesados, además de recuperar los suelos también promoverá la creación de un ambiente más agradable ayudando a la calidad de vida de diferentes comunidades. Esta es una alternativa de solución eficiente, ambientalmente aplicable en tratamientos de pasivos ambientales para una mejora en la calidad de vida de diferentes poblaciones.

La investigación toma como fundamento la Constitución Política del Perú y a la Ley General del Ambiente, destacando el derecho a vivir en un ambiente sano y el deber de conservar y restaurar los recursos naturales, con el fin de preservar el medio ambiente y la calidad de vida de la población actual y futura, desde ese punto de vista esta investigación ofrece una alternativa de recuperación de suelos contaminados por metales pesados, mejorando así la calidad del ambiente y calidad de vida para el ser humano; ya que los impactos causados en el suelo pueden afectar directamente a la salud humana.

### **1.3 Presuposición Filosófica**

Nosotros como investigadores cristianos somos obreros de la voluntad de Dios, testificando a través de diferentes estudios que la ciencia ayuda a comprobar lo que está escrito en la biblia. Como sabemos “Del Señor es la tierra y todo lo que hay en ella; el mundo y los que en él habitan.” Salmos 24:1, y nos dio esta tierra para poderla administrar de la manera óptima posible “Entonces el señor Dios tomó al hombre y lo puso en el huerto del Edén, para que lo cultivara y lo cuidara.” Génesis 2:15. Un hecho que actualmente no se realiza como se mandó, puesto que observamos como a través de los años la contaminación del planeta donde vivimos va en aumento, así podemos ver los diferentes tipos de contaminación como lo son la contaminación de agua, aire y suelo causando estos un deplorable estilo de vida y repercusiones en la salud, dejando claro como el hombre fue destruyendo poco a poco lo que Dios nos dio a cuidar.

Un gran mensaje nos da en este versículo “El que labra su tierra se saciará de pan, pero el que sigue propósitos vanos se llenará de pobreza”. Proverbios 28:19, anticipándonos a lo que vendría, ya que esas malas acciones están acabando con la tierra donde vivimos causando dolor y pobreza no solo material también espiritual. Por tanto, procuremos evitar pensar solo en bienes materiales como el dinero y pensemos en actuar de manera sostenible, tratando de remediar por medio de diferentes técnicas como lo es la fitorremediación los diversos pasivos ambientales causados por la explotación indiscriminada de los recursos naturales, ya que estos tienen un límite y lo único que lograremos será destruir lo que Dios con mucho amor nos dio a cuidar.

## **1.4 Objetivos de la Investigación**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar la Capacidad Fitorremediadora de las Especies “Tradescantia Pallida” y “Pelargonium Hortorum” en suelos contaminados con Plomo de la Zona de las Lomas de Carabayllo - Lima.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Determinar el crecimiento y desarrollo de las especies Tradescantia Pallida y Pelargonium Hortorum en suelos contaminados con Plomo de la Zona de las Lomas de Carabayllo - Lima.
- Determinar la remoción del plomo en suelo de las especies Tradescantia Pallida y Pelargonium Hortorum por comparación de concentración pre y post tratamiento.
- Determinar la absorción de plomo en la parte aérea - radicular de las especies Tradescantia Pallida y Pelargonium Hortorum en suelos contaminados con Plomo de la Zona de las Lomas de Carabayllo - Lima.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1 Antecedentes

Actualmente existen diferentes estudios y trabajos de investigación que corroboran la capacidad fitorremediadora de especies ornamentales sobre suelos con metales, entre ellas tenemos:

##### 2.1.1 Antecedentes Nacionales

Suaña, (2018) ejecuto una investigación con la especie *Helianthus annus L.* para demostrar la capacidad fitorremediadora de esta planta ornamental para absorber Cadmio, la investigación se realizó en el Centro Poblado La Rinconada en Puno, el procedimiento se realizó en ambiente controlado al interior de invernadero, tomando en consideración como factor principal las partes de la planta (raíz, tallo y hojas) que absorben el metal pesado. Para analizar el contenido de Cadmio en las partes de la planta se realizó el método de Absorción Atómica en los laboratorios. Como resultados se obtuvo que el proceso de absorción de Cadmio se dio en mayor cantidad en la raíz en contraste a las hojas y tallo, se obtuvo en las hojas una media de 0.21 mg/kg de cadmio, en raíz 0.88 y tallo 0.29 concluyendo que esta planta si posee capacidad para absorber Cd, resaltando la raíz para absorber cadmio con un porcentaje de 5.716%, en el tallo con 1.217% y hojas 0.529% de absorción, entonces la mayor absorción del cadmio se produjo a nivel radicular.

Callupe Mudarra & Lara Ayala, (2018) ejecutaron la investigación llamada Capacidad acumuladora de mercurio y zinc por *Phyla nodiflora* expuesta en suelos contaminados por relaves mineros con el objetivo de determinar la parte morfológica de la

planta en el cual presenta mayor acumulación de mercurio y zinc en un periodo de 45 días, el procedimiento se realizó en el laboratorio de ecología con tres tratamientos experimentales y uno control. después de los días de exposición se procedió a realizar el análisis de las muestras por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica en el laboratorio de Métodos Instrumentales y análisis. Como resultados se obtuvo que *Phyla nodiflora* acumula mayor concentración de zinc en el tratamiento de 70% en la raíz seguido de la hoja y por último el tallo, en relación de a la acumulación de mercurio se presentó en el tratamiento 70 % en la hoja.

Así mismo, Ríos, (2017) en su trabajo de investigación busca comparar la capacidad fitorremediadora de tres especies Rye Grass (*Lolium perenne*), Geranio (*Pelargonium hortorum*) y Malva (*Fuertesimalva echinata*) en la reducción y absorción de Plomo (Pb) en el distrito de Huamatanga. La concentración de Pb inicial fue de 402,8 mg/kg excediendo los Estándares de Calidad Ambiental para suelo, en el proceso de la investigación se evaluaron parámetros fisicoquímicos como el pH, textura, CE y CIC, la medición de concentración de Pb se realizó en partes aéreas y radiculares, en caso del Geranio se midieron las concentraciones en la raíz y tallo. Los resultados finales con el Geranio (*Pelargonium hortorum*) indicaron que hubo una remoción de Pb de 69%, reduciendo hasta 105 mg/kg a los 70 días, hallando una gran cantidad de Pb acumulado en los tallos respecto a las raíces, confirmando de este modo la capacidad fitorremediadora del Geranio (*Pelargonium hortorum*).

Gonzales et al., (2016) con el propósito de determinar la capacidad de Fitorremediación con la absorción del metal pesado Cobre, hizo uso de cuatro especies de plantas: *Helianthus annuus* (girasol), *Medicago sativa* (alfalfa), *Pelargonium zonale* (geranio) y *Ricinus communis* (higuerilla), estas fueron sembradas en un suelo de la campiña

de Moche Trujillo. El suelo fue contaminado artificialmente, dando una concentración inicial de 278 mg/kg de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>). A los 90 días después de haber cultivado las 4 especies se obtuvieron los siguientes resultados: en primer lugar, la alfalfa que logro reducir la concentración de Cu de 278 mg/kg a 77 mg/kg, seguido del geranio que llego a reducir el nivel de Cu de 278 mg/kg a 89 mg/kg, la higuierilla a 90 mg/kg y por último el girasol a 119 mg/kg. Concluyendo que las especies *Medicago sativa* (alfalfa) y *Pelargonium zonale* (geranio) fueron las especies que más remoción obtuvieron, aseverando la capacidad fitorremediadora de estas especies.

### **2.1.2 Antecedentes Internacionales**

Orroño (2002), evaluó la capacidad fitorremediadora de tres especies de del género *Pelargonium* en suelo contaminado con metales pesados como son: Cadmio, Zinc, Cobre, Cromo, Níquel y Plomo. Se identifico en que fracciones químicas y físicas del suelo se hallan los metales pesados, del mismo modo en que órganos de la planta se acumulan los metales pesados absorbidos por el *Pelargonium hortorum*. Como resultados se demostró la capacidad de fitorremediación de esta especie ya que el *Pelargonium hortorum* mostró una acumulación de metales en sus órganos a medida que la dosis de metales crecía en el suelo, el organo de la planta que mas acumulacion obtuvo fue la raíz, siendo minima la acumulación en tallos, hojas y flores (tallos > hojas > flores).

Dominguez Buitrago (2018) realizo la investigación titulada Evaluación de la capacidad bioindicadora de la contaminación de suelos por oxido de mercurio en tres especies de plantas ornamentales, evaluando el efecto de cinco diferentes concentraciones de Oxido de Mercurio HgO (0,6 - 1,5 - 2,5 - 5,0 y 10 mg/L) con especies vegetales ornamentales *Heliconia psittacorum* L.F, *Colocasia esculenta* L.S y *Sinapis alba* L. Los

resultados mostraron que las especies vegetales evaluadas tuvieron un buen desempeño para ser clasificadas como acumuladoras de metales pesados, y por ende bioindicadoras de la presencia del mismo; sin embargo cada especie reacciono diferente frente a las diferentes concentraciones; ya que la *Heliconia psittacorum* se adapto mejor a condiciones extremas entre 5 y 10 mg/L, donde presento daño pero se adecuó al cambio, mientras que la *Colocasia esculenta* es mejor bioindicadora a concentraciones bajas entre 0,6 y 2,5 mg/L, habiendo presentando disminución drástica de individuos o mortandad a concentraciones más altas.

Pajoy (2017), realizo una investigación para estimar el potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como una alternativa de tratamiento de suelos contaminados con metales pesados como Cd, Cr, Ni y Pb, en su estudio trato con *Tradescantia pallida* y *Pennisetum setaceum* las dos consideradas plantas ornamentales. Mediante los factores de bioconcentración (BFC) y Factor de Translocación (TF) calculo el nivel de acumulación de metales pesados en las plantas. Se realizo el muestreo de concentraciones de Cd, Cr, Ni y Pb en las partes aéreas y raíces de las dos especies, como resultados se observó que la especie *Pennisetum setaceum* presento en total 1601 mg/kg de remoción de metales pesados evaluados en su raíz, mientras que la especie *Tradescantia pallida* removió un total de 1980 mg/kg en su raíz. ambas especies ornamentales presentaron una eficiente acumulación de metales pesados.

Peralta (2015), estudio el proceso de fitoextracción de Vanadio empleando pasto bermuda (*Cynodon dactylon*), Geranio (*Pelargonium hortorum*) y graptopétalo (*Graptopetalum paraguayense*), las plántulas de geranio y de graptopétalo se colocaron en recipientes de plástico contenidos del suelo contaminado, la concentración inicial de Vanadio en el suelo fue de 1900, 5600 y 6500 mg /kg respectivamente. A los 15 días de colocar las plantas al suelo contaminado, se adicionó ácido etilendiamintetracético disódico

(EDTA-Na<sub>2</sub>) 0.05 mmol/kg de suelo; en lapsos de 15 días durante 120 días. Como resultados se obtuvo la acumulación de Vanadio en el pasto bermuda, este acumuló 293 mg /kg, el geranio acumuló 224 mg /kg y el graptopétalo acumuló 196 mg /kg y no se afectó el crecimiento longitudinal de las plantas. En cuanto al porcentaje de disminución de vanadio en el suelo, con el pasto bermuda se disminuyó un 71%, con el geranio se disminuyó hasta el 58% del vanadio inicial y con el graptopétalo, se consiguió eliminar el 54% del vanadio contenido en suelo.

Del mismo modo se evaluó la fitoextracción de Plomo de un suelo contaminado en la investigación de García (2011), quien trabajó con plantas con diferente densidad estomática: el Geranio, Betabel y lechuga; los análisis iniciales mostraron que el suelo de estudio presentó una contaminación elevada con una concentración de 1100 mg/kg de plomo. Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza con un diseño experimental con arreglo factorial de A x B, donde A estuvo representada por las tres especies y B por las tres estructuras de la planta (raíz, tallo y hojas). En los análisis realizados a las plantas se obtuvo que el geranio fue la planta que acumuló la mayor cantidad de plomo (495.56 mg/kg), mientras que la planta de betabel acumuló 422.5 mg/kg y la lechuga mostró una concentración de 335.00 mg/kg. Los análisis en la raíz determinaron que fue este órgano de la planta que más Pb acumuló en las tres especies. La planta de betabel acumuló la mayor cantidad de plomo en esta estructura con 300.00 mg Pb/kg mientras que la planta de geranio acumuló 291.50 mg Pb/kg y la planta de lechuga mostró un valor de 222.50 mg Pb/kg. Del mismo modo el análisis en las hojas, el Geranio logró acumular mayor cantidad de Pb con 127.50 mg/Kg, las hojas de betabel 100.00 mg/kg y las hojas de lechuga 85.00 mg/kg. De este modo se determinó que la mayor acumulación de Pb se encuentra en las raíces y las hojas por ser órganos propicios para la acumulación.

## **2.2 Marco Legal**

### ***2.2.1 Marco Legal Nacional***

En el presente estudio se adjunta un listado de las leyes y normas legales vigentes:

- Constitución Política del Perú de 1993 - Título III - Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales – art 66: Recursos naturales y art 67: Política ambiental.
- Ley N° 28611. Ley General del Ambiente.
- Ley N° 26821. Ley Orgánica para el Aprovechamiento de los Recursos Naturales.
- Ley N° 28271. Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera, y su modificación, Ley N° 28526.
- D. S. N° 012-2017-MINAM: Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados - Título III: Remediación de sitios contaminados.
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

### ***2.2.2 Marco Legal Internacional***

Europa:

- Directiva 2010/75/UE sobre Emisiones Industriales (Prevención y control integrados de la contaminación) DO L.
- Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación

- Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del consejo, sobre la responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales.

#### España:

- Ley 22/2011 de Residuos y Suelos, en el Título Anexo XI, se introduce el concepto de "Recuperación voluntaria de suelos contaminados".
- Real Decreto 9/2005, Marco legal suelos contaminados. Se establecen Niveles Genéricos de Referencia y se introduce la herramienta de Análisis de Riesgo para la gestión de suelos potencialmente contaminados.

#### México

- NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.
- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

#### Argentina

- NA. Decreto Nacional 681.
- N.A. Ley 22428 Conservación y Recuperación de la Capacidad Productiva de los Suelos

#### Ecuador

- Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados.

EE.UU

- Niveles SRL para suelos EPA.gov

### **2.3 Suelo**

La definición del suelo es el medio en el cual se desarrollarán las plantas, para alimentar y vestir al mundo. En términos generales puede definirse al suelo como un ente tridimensional vivo compuesto de materiales inorgánicos como minerales, agua y aire, que contempla una fracción orgánica, además de micro y macrofauna encargados de la degradación de la materia en el suelo. Normalmente en el suelo se encuentran en equilibrio muchas sustancias orgánicas e inorgánicas que podrían considerarse peligrosas para el hombre, y sólo cuando estas sustancias alcanzan niveles que ponen en riesgo la salud humana y el de los ecosistemas, se habla de contaminación del suelo (Chavez, 2014).

### **2.4 Contaminación Ambiental**

Una de las razones por la que nuestro ambiente deja de ser saludable es por la contaminación ambiental. Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o a su vez, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos (Estrada et al., 2016).

La contaminación ambiental es también la acción y estado que resulta de la introducción por el hombre de contaminantes al ambiente por encima de las cantidades y/o concentraciones máximas permitidas, tomando en consideración el carácter acumulativo o sinérgico de los contaminantes en el ambiente. Podemos considerar que la contaminación ambiental es la que produce alteraciones al medio ambiente dañándolo de manera leve o grave, o destruyéndolo por completo. También debemos tener en cuenta el factor tiempo, ya que el daño puede ser temporal o continuo (Orellana, 2005).

## **2.5 Contaminación del Suelo**

El término “contaminación del suelo” se refiere a la presencia en el suelo de un químico o una sustancia fuera de sitio y/o presente en una concentración más alta de lo normal que tiene efectos adversos sobre cualquier organismo al que no están destinados. La contaminación del suelo con frecuencia no puede ser directamente evaluada o percibida visualmente, convirtiéndola en un peligro oculto (Barrio, 2017).

El Estado del Informe Mundial sobre Recursos del Suelo (SWSR) identificó la contaminación del suelo como una de las principales amenazas para el suelo que afectan los suelos del mundo y los servicios a los ecosistemas que estos proporcionan (Rodríguez et al., 2019).

Si bien muchas de las sustancias contaminantes pueden encontrarse en forma natural en el suelo, muchas de ellas tienen como fuentes principales las actividades humanas como la minería, la explotación petrolera, actividades agrícolas, industriales, inclusive las actividades en las ciudades a través del mal manejo de los residuos sólidos y aguas residuales, entre otros. Dentro de las principales sustancias contaminantes se incluyen a los

metales pesados como el plomo, cromo, arsénico, zinc, cadmio, cobre, mercurio y níquel, siendo el plomo el objeto de estudio del presente trabajo (Chavez, 2014).

### ***2.5.1 Fuentes de los Contaminantes del Suelo***

Por su origen puede ser geogénico o antropogénico. Los primeros pueden proceder de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o del lixiviado de mineralizaciones. Por el contrario, los antropogénicos se producen por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos. Desde un punto de vista legal, los contaminantes antropogénicos son los verdaderos contaminantes (Galán & Romero, 2008).

#### **2.5.1.1 Fuentes Geogénicas Naturales**

Es fundamental separar los valores de fondo y valores iniciales al definir el alcance de la contaminación en áreas en las que la legislación ambiental no ha establecido aún límites para la intervención para todas las matrices ambientales. Los valores de fondo indican un contenido natural geogénico mientras que los valores iniciales indican el contenido real de un elemento en el medio ambiente en cualquier punto dado (Silva & Correa, 2009).

Las concentraciones de fondo en los suelos de una región estarán fuertemente relacionadas con la fracción pedo-geoquímica y la dinámica del medio que llevó a la formación de suelo. Diversos materiales parentales del suelo son fuente natural de ciertos metales pesados y otros elementos como los radionúclidos y éstos pueden representar un riesgo para el medio ambiente y la salud humana en concentraciones elevadas. (Silva & Correa, 2009)

Los eventos naturales como las erupciones volcánicas o incendios forestales también pueden causar contaminación natural cuando se liberan al ambiente muchos elementos tóxicos. Estos elementos tóxicos incluyen compuestos tipo dioxinas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Se identificaron altos niveles de metales pesados en suelos volcánicos de la isla Reunión que pueden asociarse a una actividad volcánica activa, principalmente mercurio (Hg), o con la meteorización del material parental, en la que los altos niveles de cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni) y zinc (Zn) tienen un origen pedo-geoquímico (Rodríguez et al., 2019).

#### **2.5.1.2 Fuentes Antropogénicas**

Las principales fuentes antropogénicas de contaminación del suelo son los químicos usados o producidos como derivados de actividades industriales, desechos domésticos y municipales, incluyendo las aguas residuales, los agroquímicos y los productos derivados del petróleo. Estos químicos son liberados al medio ambiente accidentalmente, por ejemplo, los procedentes de derrames de petróleo o de la lixiviación desde los vertederos, o intencionalmente, como sucede con el uso de fertilizantes y plaguicidas, irrigación con aguas residuales no tratadas o la aplicación en suelos de lodos de depuradora.

### **2.6 Minería**

La minería ha tenido un gran impacto en el suelo, el agua y la biota desde la antigüedad. Pueden encontrarse muchos ejemplos documentados de suelos fuertemente contaminados por las actividades mineras en todo el mundo (La Rotta & Torres, 2017).

La fundición de metales para separar los minerales ha introducido muchos contaminantes al suelo. Las instalaciones mineras y de fundición liberan enormes cantidades de metales pesados y otros elementos tóxicos al medio ambiente; éstos persisten durante

periodos prolongados, mucho después del término de estas actividades (Rodríguez et al., 2019).

### **2.6.1 Contaminación por Minería en Perú**

En el Perú, la contaminación de los suelos debido a metales pesados es un aspecto importante debido a la tradición minera existente en el país desde tiempos ancestrales. Es sabido que, hasta antes de 1990, fecha en que se promulga el código del medio ambiente en Perú, la legislación relativa a asuntos ambientales era escasa, acarreando como consecuencia problemas de contaminación de aire, agua y suelo, y afectando la salud de la población.

Los desechos tóxicos de la minería son almacenados en estériles, los cuales están formados principalmente por partículas finas que pueden tener diferentes concentraciones de metales pesados. Estas partículas contaminadas pueden ser dispersadas por la acción de la erosión hídrica y eólica, pudiendo alcanzar suelos agrícolas (La Rotta & Torres, 2017).

Un caso emblemático y persistente de contaminación de suelos en el Perú es la Oroya. En esta ciudad, desde 1922 se realizan actividades de fundición de metales, siguiendo 3 circuitos metalúrgicos: cobre, zinc y plomo. El plomo así como otras sustancias son emitidos dentro del proceso propio de una fundición, y al ser un elemento pesado, luego de contaminar el aire, se depositan en el suelo donde se acumulan e ingresan a la cadena alimenticia donde podrían magnificar su poder contaminante de un nivel a otro (Chavez, 2014).

### **2.6.2 Metales Pesados**

El término “metales pesados” son un grupo de elementos químicos de masa relativamente alta, la tabla periódica incluye unos 70 elementos metálicos, y de ellos 59

pueden ser considerados “metales pesados”, que son aquellos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol). Con esta precisión se excluirían metales con pesos atómicos menores que el del Fe y que con frecuencia pueden ser metales contaminantes, como el V (50,95), Mn (54,44), Cr (52,01) y a otros que realmente no son metales como As, F y P. Por ello, resulta mejor hablar de contaminación por “elementos traza”, si bien hay que reconocer que la mayoría de los contaminantes inorgánicos son “metales pesados” (Reyes et al., 2016). A veces, la contaminación del suelo se puede producir también por altas concentraciones de elementos mayoritarios (Na, Fe, Al).

*Tabla 1. Micronutrientes y Macronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos*

Metales pesados que son micronutrientes esenciales (unos pocos mg o ug/día)	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn
Otros micronutrientes esenciales	F, I, Si
Macronutrientes (100 mg o más por día)	Ca, Cl, Mg, P, K, Na, S
Metales pesados no esenciales*	Be, Cd, Hg, (Ni), Pb, Sb, (Sn), Ti

\*Los metales en paréntesis pueden ser esenciales

Nota: La tabla muestra los micronutrientes y macronutrientes para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos, así como los Metales pesados no esenciales. Fuente: (Ruiz & Méndez, 2011)

De todos los elementos traza encontrados en suelos, hay 17 que se consideran como muy tóxicos y a la vez fácilmente disponibles en muchos suelos en concentraciones que sobrepasan los niveles de toxicidad. Éstos son: Ag, As, Bi, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Sb, Se, Sn, Te, Tl y Zn. De ellos, diez son fácilmente movilizados por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos. Éste es el caso

de: Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl. La EPA (US Environmental Protection Agency) incluye en la lista de contaminantes prioritarios los siguientes trece elementos traza: antimonio, arsénico, berilio, cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y zinc, introduciendo al berilio, respecto a las listas anteriores de los más tóxicos y disponibles (Galán & Romero, 2008).

Estos elementos aparecen de forma natural en bajas concentraciones en suelos. Muchos de ellos son micronutrientes esenciales para plantas, animales y humanos, pero en concentraciones altas pueden causar fitotoxicidad y dañar la salud humana a causa de su naturaleza no biodegradable, que causa que se acumulen fácilmente en los tejidos y organismos vivos (Rodríguez et al., 2019).

Las principales fuentes antropogénicas de los metales pesados son las áreas industriales, los estériles de minas, la eliminación de desechos con alto contenido metálico, la gasolina y las pinturas con plomo, la aplicación de fertilizantes, el estiércol, los lodos de depuradora, los plaguicidas, la irrigación con aguas residuales, los residuos de combustión de carbón, los derrames de petroquímicos y la deposición atmosférica de diferentes fuentes.

Los metales pesados son el tipo de contaminantes más persistentes y complejos para remediar en la naturaleza. No solamente degradan la calidad de la atmósfera, de los cuerpos de agua y de los cultivos de alimentos, sino que también amenazan la salud y bienestar de animales y seres humanos. Los metales se acumulan en los tejidos de los organismos vivos, ya que, a diferencia de la mayoría de los compuestos orgánicos, no están sujetos a degradación metabólica (Londoño et al., 2016).

### **2.6.2.1 Efectos de los Metales Pesados en el Suelo**

El suelo es el receptor de la mayor parte de los residuos generados por el hombre, produciendo su contaminación y transmitiendo a otros recursos como las aguas subterráneas o a las cadenas tróficas, a través de su captación por las plantas.

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos (LMP) , causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal en las plantas y disturbios funcionales en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo; este tipo de contaminación se conoce como “polución de suelos” (Galán & Romero, 2008).

La acción directa de los metales pesados sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos.

El pH de los suelos es un factor esencial, ya que la mayoría de los metales tienden a estar más disponibles en medios ácidos excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales están disponibles en medios alcalinos. Por tanto, la adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo (Barrio, 2017).

La característica de los suelos favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber metales pesados que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación pasando rápidamente al subsuelo y contaminando los niveles freáticos(Barrio, 2017).

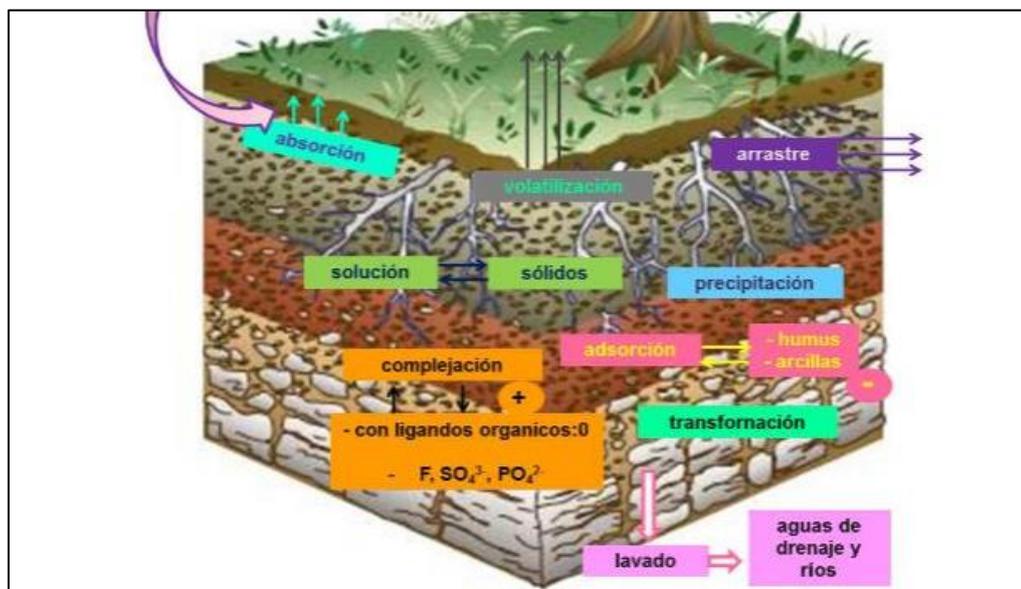
### 2.6.2.2 La Movilidad de los Metales Pesados en el Suelo

Los metales pesados en los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Bonilla, 2013).

Cuatro formas de distribución de los metales pesados incorporados en el suelo:

1. Retención en el suelo debido a la disolución o fijación por procesos de adsorción, formación de complejos o precipitación.
2. Absorción por las plantas e incorporación de las cadenas tróficas.
3. Volatilización y paso a la atmósfera.
4. Movilización hacia las aguas superficiales o subterráneas

Figura 1. Dinámica de los metales pesados en el suelo.



Nota:

La figura muestra como los metales pesados en los suelos se redistribuyen y reparten lentamente; y las formas de distribución en el suelo. Fuente: (Garcia-Gil et al., 1991)

La movilidad de un metal depende no sólo de su especiación química, sino de una serie de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc (Bonilla, 2013).

En general, la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes inferiores en muy pequeñas cantidades. Por eso la presencia de altas concentraciones en el horizonte superior decrece drásticamente en profundidad cuando la contaminación es antrópica. Esto sucede precisamente porque la disponibilidad de un elemento depende también de las características del suelo en donde se encuentra (Solano, 2008). Los parámetros geodáficos llegan a ser esenciales para valorar la sensibilidad de los suelos a la agresión de los contaminantes.

- pH: La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido porque son menos fuertemente adsorbidos, excepto As, Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino.
- Textura: Los suelos arcillosos retienen más metales por adsorción o en el complejo de cambio de los minerales de la arcilla. Por el contrario, los arenosos carecen de capacidad de fijación y puede contaminarse el nivel freático.
- Mineralogía de arcillas: Cada mineral de la arcilla tiene unos determinados valores de superficie específica y de descompensación eléctrica. Cuanto mayor es la superficie activa de un filosilicato, mayores son sus posibilidades de adsorber metales.
- Materia orgánica: Reacciona con los metales formando complejos de cambio o quelatos. La adsorción puede ser tan fuerte que queden estabilizados, como el caso del Cu, o formen quelatos también muy estables, como puede pasar

con el Pb y Zn. En muchos casos se forman complejos organometálicos lo que facilita la solubilidad del metal, la disponibilidad y dispersión porque pueden degradarse por los organismos del suelo.

- Capacidad de cambio: El poder de intercambio catiónico depende del tipo de minerales de la arcilla, de la materia orgánica, de la valencia y del radio iónico hidratado del metal. A mayor tamaño y menor valencia, menos frecuentemente quedan retenidos. Respecto a los minerales de la arcilla, la retención es mínima para los minerales del grupo del caolín, baja para las illitas, alta para las esmectitas y máxima para las vermiculitas.
- Condiciones redox: El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido.
- Carbonatos: La presencia de carbonatos garantiza el mantenimiento de los altos pH, y en estas condiciones tienden a precipitar los metales pesados. El Cd y otros metales tienden a quedar adsorbidos por los carbonatos.
- Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn: Juegan un importante papel en la retención de metales pesados y en su inmovilización.
- Salinidad. El aumento de la salinidad puede incrementar la movilización de metales y su retención por dos mecanismos. Por otra parte, las sales normalmente dan pH alcalino.

El plomo es un compuesto que no se degrada en otros subproductos, se acumula progresivamente cuando es vertido a la atmósfera causando desequilibrio en los ecosistemas (Solano, 2008).

### **2.6.2.3 Plomo**

El plomo (Pb) es un metal gris azulado que se produce naturalmente en pequeñas cantidades dentro de la corteza terrestre, su uso es frecuente en muchos procesos industriales y es una de las razones principales de la contaminación del medio ambiente (Henry, 2000), debido a su peso molecular, tienden a acumularse rápidamente en el suelo, sedimentos y cuerpos de agua y pueden permanecer en el medio ambiente como contaminantes del aire y suelo (Chavez, 2014).

Industrialmente, hay una variedad de procesos en los cuales se emplea el plomo actividades como la minería, la fundición, la fabricación de pesticidas y fertilizantes, el vertido de aguas residuales municipales y la quema de combustibles fósiles que contienen un aditivo de plomo además de estar presente en muchos productos y materiales comerciales, como pinturas, esmaltes cerámicos, vidrio para televisores, municiones, baterías y otros., se usa en forma sólida y líquida junto con las aleaciones de Sn, Cu, As, Sb, Bi, Cd y Na más comúnmente utilizadas (Bonilla, 2013).

El plomo se ha extraído y utilizado por el hombre hace más de 5000 años, los depósitos naturales más conocidos de este metal se encuentran en Canadá, EE.UU, México, Perú, Asia, Europa y Australia, (Burger & Pose, 2010) nos indican que las emisiones naturales de plomo alcanzan aproximadamente 19.000 Ton/año mediante los desgates ecológicos y emisiones volcánicas, de la actividad antropogénica se estima que se genera aproximadamente 120 a 130.000 Ton/año.

En nuestro país La ciudad de La Oroya se ha visto afectada a causa de la minería y la fundición de metales pesados desde 1922, se han presentado numerosos casos de

contaminación por el Pb y hasta la fecha se han realizado observaciones ambientales limitadas evidenciando un claro problema de salud pública (Bower et al., 2012).

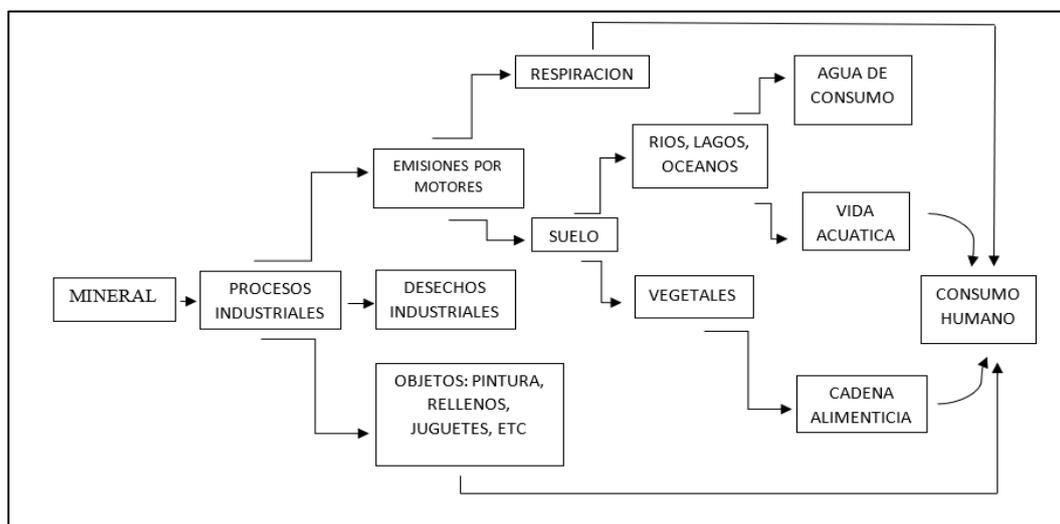
#### **2.6.2.3.1 Efectos del Plomo en el Ambiente**

El plomo se encuentra en pequeñas cantidades en el medio ambiente, pero las concentraciones más altas son resultado de actividades antropogénicas, tales como la combustión de petróleo, procesos industriales, combustión de residuos sólidos, y otros (Yarasca, 2015). Dado que el plomo está asociado con las actividades humanas, durante décadas este metal pesado se ha generalizado y se deposita en componentes básicos del ambiente: en el aire, suelo, agua y alimentos, dada la alta densidad que posee el Pb afecta y altera las propiedades químicas y biológicas del suelo (Temitope et al., 2018). Entre los principales daños al medio ambiente se encuentran la pérdida de fertilidad del suelo, que limita la síntesis de clorofila de las plantas y la alteración del fitoplancton en el caso del recurso hídrico, el comportamiento físico-químico del plomo hace que sea más fácil su incorporación a los cuerpos de agua que mediante la escorrentía termina infiltrándose, generando riesgos potenciales en las poblaciones y en el medio ambiente, el principal riesgo es la alteración de la cadena trófica, siendo el agua una fuente vital de nutrición para animales y plantas (Bonilla, 2013).

La contaminación del suelo por Pb ocurre mediante una serie de actividades como el riego con aguas residuales, eliminación de residuos sólidos, incluidos lodos residuales, escape de vehículos, actividad industrial y actividad minera, mediante estas actividades los metales pesados generalmente se pueden introducir en el medio ambiente y en consecuencia, en organismos vivos a través del aire, el agua, los alimentos o el suelo (Aransiola et al., 2013).

El plomo penetra en la capa del suelo y modifica sus propiedades físicas y químicas, como la textura, la conductividad eléctrica, el grado de fragmentación, el aumento del pH y la humedad, la propagación del plomo con el suelo hace que este logre ubicarse a una profundidad de 10 a 20 cm, por lo que su toxicidad causará reducir la tasa de crecimiento normal de las plantas y provocará clorosis y ennegrecimiento en el sistema radicular de las plantas. En el suelo, la productividad y la fertilidad sufrirán disminución, lo que puede ser perjudicial para los cultivos (Huerta, 2019).

Figura 2. Rutas de contaminación humana por Pb



Nota: La figura muestra que la contaminación del suelo por Pb ocurre mediante una serie de actividades introduciéndose en el medio ambiente, llegando al ser humano. Fuente: (Rodríguez Rey et al., 2016)

### 2.6.2.3.2 Efectos del Plomo en la Salud Humana

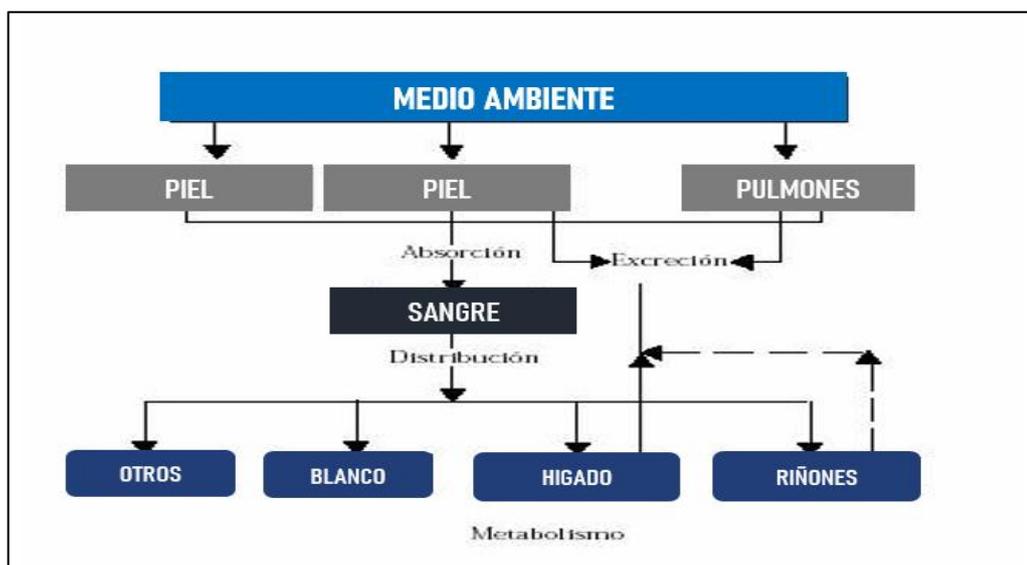
A lo largo de los años el Pb ha sido usado en diferentes actividades humanas, actualmente se convirtió en una fuente potencial de contaminación, constituyendo actualmente el cuarto metal con mayor efecto perjudicial sobre la salud humana (Bonilla, 2013).

El plomo generalmente es muy tóxico para los organismos vivos y especialmente para los humanos, cuando el plomo se ingiere, inhala o absorbe a través de la piel, resulta altamente venenoso para el sistema endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmune, nervioso y gastrointestinal y puede afectar la piel y los riñones (Castro, 2013). El plomo puede afectar el sistema nervioso central en forma de dolores de cabeza, insomnio, cambios en la personalidad y la memoria, la exposición de niños al plomo está relacionada con la disminución del rendimiento escolar, un coeficiente intelectual más bajo, una capacidad de atención más corta, hiperactividad y deterioro mental; en las mujeres tienen una mayor incidencia de esterilidad y aborto espontáneo (Avelino, 2013).

La preocupación mayor referente al plomo apunta especialmente a niños, dado que estos son más vulnerables e indefensos a los efectos contaminantes del Pb durante su etapa de crecimiento y su desarrollo del sistema nervioso, se puede dar el caso en que se presenta mayor absorción por las vías respiratorias y oral, (Velasquez & Corzo, 2014).

El plomo ha sido incluido como posible carcinógeno en el Inventario de Emisiones Tóxicas de la EPA, la inhalación y la ingestión son las dos vías de exposición, y los efectos de ambas son los mismos. La Pb se acumula en los órganos del cuerpo, lo que puede provocar intoxicación (plumbismo) o incluso la muerte. En adultos, generalmente experimentan una disminución del tiempo de reacción, pérdida de memoria, náuseas, insomnio, anorexia y debilidad de las articulaciones cuando se exponen al plomo (Henry, 2000).

Figura 3. Destino de Sustancias tóxicas en el cuerpo



La figura muestra las vías de acceso de las sustancias tóxicas, y la distribución que se da en el organismo

### 2.6.2.3.3 *Acumulación de Pb en Suelo y Plantas*

La acumulación de metales pesados en el suelo representa un riesgo para el medio ambiente y la salud humana, esto es a causa de la difícil degradación de los metales pesados y la concentración de estos contaminantes ambientales aumenta cada año (Contreras et al., 2016). Los metales pesados son considerados contaminantes peligrosos porque tienden a bioacumularse en el suelo, esta bioacumulación significa un incremento en la concentración del metal pesado durante un período de tiempo en comparación con la concentración de esa sustancia en el medio ambiente (Prieto et al., 2009).

Según (Paiva, 2015) los metales pesados cuando entran en contacto con el suelo pueden ser retenidos mediante su disolución en soluciones del propio suelo o pueden ser fijados por procesos de adsorción, complejación o precipitación, los metales pesados al acumularse en el suelo pueden pasar por diferentes procesos cambiando de fase, a esto también se le conoce como un mecanismo de defensa del suelo, asimismo pueden llegar a

volatilizarse a la atmosfera y son absorbidos por las plantas y se incorporan a las cadenas tróficas , llegando a contaminar también las aguas superficiales y subterráneas.

La acumulación de los metales pesados como el Pb están principalmente asociados a los ciclos biológicos y geoquímicos y pueden llegar a alterarse por la actividad humana, como por ejemplo las actividades agrícolas, actividades industriales, actividades mineras y otras entre sí (Suaña, 2018).

(Paiva, 2015) menciona que tomando en cuenta que tipo de metal está en contacto con el suelo, los efectos de absorción pueden ser diferentes tomando en cuenta el PH, la fertilización y las prácticas de manejo de suelo.

En el caso del Pb es un metal insoluble y los compuestos más solubles de este metal son el acetato de plomo, el cloruro de plomo y el nitrato de plomo. A nivel atmosférico, generalmente se encuentra en forma de sulfato de plomo o carbonato (Contreras et al., 2016). Mayormente el Pb suele acumularse en la raíz; no obstante, también podría darse una transformación química por acción de las bacterias del suelo y otros microorganismos vinculados a la planta. Complejos de Pb pueden ingresar por las raíces de la planta y luego unirse a las paredes celulares de intercambio iónico o pueden precipitar en forma de fosfatos o carbonatos, la cantidad de Pb que no se unió se conduce por los canales de calcio para luego depositarse en el floema y xilema de la planta (Paiva, 2015).

Los diferentes órganos de las plantas dilatan en su capacidad para acumular metales, en la mayoría de las plantas las raíces, tallos, hojas, frutos y semillas presentan diferentes niveles de concentración y acumulación de metales pesados; en el suelo generalmente los niveles decrecen en el siguiente orden: raíces > tallos > hojas > frutos > semillas (Medina & Montano, 2013).

Por otro lado, la acumulación de metales pesados podría reducir y demorar la floración de las plantas. Según (Orroño, 2002) en ocasiones la acumulación de Pb podría llegar a repercutir en otros procesos, como la reproducción, de modo que se produce situaciones de estrés en las plantas a causa de la presencia de Pb, causando que algunas plantas produzcan menor cantidad de estructuras reproductivas.

## **2.7 Pasivos Ambientales**

La Ley que regula los Pasivos ambientales de la Actividad Minera (Ley N° 28271, 2004) define a los Pasivos Ambientales como aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos que son producto de operaciones mineras, abandonadas o inactivas y que representan un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ambiente circundante y la propiedad.

La minería antigua en el Perú ha dejado muchos pasivos que la población continúa pagando en la actualidad. Según el MEM (Ministerio de Energía y Minas) el saldo de pasivos es de cerca de 7000 localizados principalmente en la Sierra peruana. Casos emblemáticos como los reportados en La Oroya y su elevada contaminación por plomo de alrededor de 3177 ppm en suelos, son tan solo una muestra de lo que ha dejado a su paso una actividad que durante mucho tiempo trabajó sin el mayor cuidado ni respeto a las poblaciones locales y al medio ambiente. Así mismo, la tradición minera del país apunta a un incremento en el número de concesiones y posterior actividad minera, varios estudios han demostrado un preocupante grado de contaminación en la Oroya. La contaminación de plomo en el aire se traduce en un nivel muy alto de plomo en la sangre de los habitantes (OEFA, 2016).

El grado de responsabilidad jurídica del pasivo ambiental al que las empresas están sujetas depende del sistema legislativo nacional del país donde el daño se produce. Muchas

transnacionales occidentales prefieren operar en los países del Sur, no sólo porque allí están las materias primas sino también porque las normas ambientales y laborales son menos estrictas, y eso permite ahorrar en los costes. Sin embargo, muchas veces el problema principal no es tanto la falta de legislación, sino de control. Por ejemplo, las cantidades permitidas de sustancias nocivas en el agua en Perú no son muy diferentes de los límites establecidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE UU. El problema radica en que en el Sur, más frecuentemente que en el Norte, estos límites no son respetados, debido al menor poder político y económico y al chantaje de la pobreza y la deuda externa (Russi & Allier, 2014).

### ***2.7.1 Distrito de Carabayllo***

Lomas de Carabayllo se ubica al norte de Lima Metropolitana, en el distrito de Carabayllo. Lomas de Carabayllo tiene 2 zonas definidas en relación con la cuenca del valle del Río Chillón:

a. Una zona eriaza: Aquí se encuentran la mayor parte de los 52 asentamientos humanos y es la zona donde se encuentra la mayor cantidad de asientos mineros no metálicos, el mal llamado relleno sanitario, las principales actividades que contaminan aire, agua y suelo y donde sus quebradas son cauces de huaycos y deberían ser consideradas zonas de riesgo.

b. Una zona agrícola que incluye a San Pedro de Carabayllo, donde se levantaban grandes haciendas que, en 1970 fueron afectadas por la Reforma Agraria, parcelándose y entregándose a Cooperativas Agrarias. Tras el fin del Gobierno Militar, las Cooperativas terminaron extinguiéndose debido a la aplicación de políticas económicas liberales, como consecuencia de ello, en los últimos años han aparecido centros urbanos informales

promovidas por pseudo-urbanizadoras que vienen lotizando las parcelas (sin el mínimo criterio técnico) para venderlos a terceros (de Carabayllo Municipalidad de Carabayllo, 2015).

### **2.7.1.1 Los problemas ambientales de lomas de Carabayllo**

Lomas de Carabayllo, en términos ambientales es una de las zonas más críticas de Lima Norte, al presentar un medio urbano muy deteriorado de precaria calidad ambiental, sin infraestructura urbana (pistas, veredas, muros de contención, escaleras), sin equipamiento, sin servicios básicos, sin parques ni jardines, sin aseo urbano, con altos índices de contaminación de suelo, ocasionado por la presencia de canteras, concesiones mineras sobrepuestas en zonas urbanas y de expansión urbana, actividades de reciclaje de baterías, viviendas sobre residuos del ex botadero, relleno sanitario, zonas urbanas que están sobre lomas, incipiente nivel de consolidación y viviendas precarias.(Galarza & Gómez, 2017)

#### **2.7.1.1.1 *Deterioro del Ambiente y Contaminación por Presencia de Canteras***

Lomas de Carabayllo posee importantes recursos naturales como la arcilla, arena gruesa, piedra chancada, utilizados como materiales para la construcción para viviendas, carreteras, cerámicos y productos sanitarios. Actualmente estos recursos son muy bien cotizados, ante el incremento de la actividad inmobiliaria en Lima Metropolitana, que demanda materiales como agregados en la industria de la construcción.

La actividad minera en el Distrito de Carabayllo se inicia en 1957, en las Lomas de Carabayllo, con las concesiones mineras San Miguel de Las Lomas operando desde 1957 y Vasconia operando desde 1959. Es así como la actividad minera no metálica se encuentra en Lomas con actividades de extracción y chancado o molienda del material (CIDAP, 2009).

Según informes del Ministerio de Energía y Minas, en el distrito de Carabayllo existen 96 concesiones mineras, que afectan a 16,881 has. De estas 29 Concesiones se encuentran en Lomas de Carabayllo (30% del total distrital), que afecta a 3,261 há, estas abastecen de insumos a grandes empresas como Trébol, Celima, Pirámide, entre otras (Municipalidad de Carabayllo, 2010).

Existiendo empresas explotadoras de minerales no metálicos que comercializan afirmado, agregados de construcción y piedra chancada para construcción, así como ladrilleras; estas empresas no cumplen con las normas de carácter tributario ambiental, debido a que funcionan sin licencia, amparándose en las autorizaciones del MEM.

#### **2.7.1.1.2      *Crecimiento Urbano Desordenado***

Lima norte pierde en promedio 148 has de área agrícola al año, por el impacto destructor irreversible del proceso de expansión urbana, debido a que las personas invaden terrenos en las laderas de los cerros y todo el territorio, originando un proceso de consolidación, desarticulado y desordenado (de carabayllo Municipalidad de Carabayllo, 2015). La tendencia de crecimiento que en la actualidad presenta el distrito de Carabayllo contribuye a la generación de impactos ambientales negativos, debido a la aparición de inmobiliarias y de viviendas informales en terrenos agrícolas y de laderas, tanto en la pérdida de ecosistemas de lomas y humedales, como en el desbalance de los acuíferos que resulta del avance de la expansión urbana.

En el distrito de Carabayllo a nivel de viviendas el material más utilizado en las paredes es el material noble 72 %, material de Adobe 6,9%, y material precario 2,7 % de un total de 79,541 viviendas. El material predominante en los pisos, son los pisos cemento 58,8 % y tierra 16,0% de un total de 79,541 viviendas en el distrito. La gran mayoría de las

viviendas en Lomas (70%) están en proceso de construcción. Apenas el 10% de las viviendas han sido construidos en base a planos, lo que muestra el alto grado de construcción informal (INEI, 2018). Esto es muy preocupante puesto que un estudio hecho por la OEFA en el año 2017 mostro que la concentración de plomo en el suelo sobrepasa los límites permitidos, este panorama urbano- ambiental de Lomas genera que las condiciones de vida sean muy precarias, afectando la salud de sus pobladores.

Llegando a presentarse Contaminación e intoxicación por plomo en niños, niñas y adultos en el año 2005, especialmente de las poblaciones aledañas a la zona donde se realizaban y aun se realizan actividades de reciclaje de baterías. Donde los valores superaban entre 2 a 5 veces los límites permitidos en la población infantil así como adulta, teniendo efectos altamente peligrosos por los daños irreversibles a nivel del sistema nervioso y psicomotor, daños que ocasionan la disminución del coeficiente intelectual, saturnismo además de mal desarrollo y bajo crecimiento de niños y niñas (CIDAP, 2009).

En esta zona predominan las enfermedades de origen ambiental (males a la piel y vista, diarreas, parásitos, enfermedades respiratorias, entre otros).

## **2.8 Técnicas de Remediación de Suelos Contaminados**

Los suelos contaminados con metales pesados representan un importante problema de salud ambiental y humana que requiere de soluciones tecnológicas efectivas y accesibles (Jankaite & Vasarevičius, 2005), es por eso que actualmente existen diversas tecnologías de recuperación y remediación de suelos contaminados, algunas de estas son de aplicación habitual y otras están aún en fase experimental, estas tecnologías están diseñadas para aislar o mitigar las sustancias contaminantes y nocivas, transmutando su estructura química haciendo uso de procesos generalmente químicos, térmicos o biológicos (Ortiz et al., 2007).

A lo largo de los años, se han desarrollado diversas técnicas de remediación in situ y ex situ para contener, limpiar o restaurar suelos contaminados con metales pesados (Liu et al., 2018).

El empleo y manejo de las tecnologías se somete a las características del suelo y del contaminante, de la efectividad esperada con cada tratamiento, de las posibilidades económicas y del tiempo estimado para su aplicación, dependiendo de la forma en la que se lleven a cabo las técnicas de recuperación de suelos, se determinara si el tratamiento será in situ, o ex situ (Ortiz et al., 2007).

Los tratamientos in situ demandan un menor manejo y por lo general más lento, dichas tecnologías evitan operaciones de excavación y transporte, suponen una reducción de costos y riesgos minimiza la perturbación del suelo, se reduce la exposición de los trabajadores y el público circundante a los contaminantes, y el costo del tratamiento puede reducirse significativamente (De la Rosa et al., 2007), (Liu et al., 2018). A diferencia los tratamientos ex situ requieren de la excavación y transporte del suelo contaminado a una instalación de tratamiento fuera del sitio, en algunos casos requieren de lavado de suelos con elementos quelantes con la finalidad de separar el contaminante; estas técnicas de recuperación traen consigo limitaciones, dado que son más complejas además de alterar las propiedades del suelo dañando la micro y macro flora asociada, así como el alto costo que ellas implican (Chavez, 2014).

En la siguiente tabla se observa la matriz de los criterios más importantes para la selección de tecnologías de tratamiento en suelos:

Tabla 2. Tecnologías de tratamientos en suelos

<b>Tecnología</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Uso</b>	<b>Costos</b>	<b>Fiabilidad</b>	<b>Tiempo</b>
<b>Tratamientos fisicoquímicos</b>					
Separación electrocinética	Completo	Limitado	Malo	Regular	Regular
Inundación	Completo	Limitado	Regular	Regular	Regular
Lavado	Completo	Limitado	Regular	Regular	Bueno
Solidificación /estabilización	Completo	Amplio	Bueno	Bueno	Bueno
Extracción química	Completo	Amplio	Regular	Regular	Bueno
Reducción /oxidación química	Completo	Amplio	Regular	Bueno	Bueno
Separación magnética	Completo	Amplio	Regular	Regular	Bueno
<b>Tratamientos biológicos</b>					
<b>Fitorremediación</b>	<b>Completo</b>	<b>Regular</b>	<b>Bueno</b>	<b>Regular</b>	<b>Malo</b>
Biorreactores (Lixiviados o lodos)	Completo	Amplio	Bueno	Regular	Regular
<b>Tratamientos Térmicos</b>					
Descontaminación por gas caliente	Piloto	Regular	Bueno	Malo	Bueno
Incineración	Completo	Amplio	Malo	Malo	Bueno
Desorción térmica	Completo	Amplio	Regular	Malo	Bueno
<b>Otros Tratamientos</b>					
Excavación y disposición	Bueno	Amplio	Bueno	Bueno	Bueno
Cubierta de los residuos	Bueno	Amplio	Regular	Bueno	Malo

Nota: La tabla muestra tecnologías de tratamientos en suelos, desarrollo, uso, costos, fiabilidad y tiempo de cada tratamiento. Fuente: USEPA. 1997

## 2.9 Fitorremediación

Años atrás las únicas tecnologías para descontaminar suelos estaban basadas en procesos y técnicas físico-químicas, que en la mayoría de los casos sobrelleva un gasto

económico elevado, además de ello requiere de un elevado consumo de energía que puede llegar a causar un impacto negativo irreversible en el funcionamiento natural de los suelos. (Garbisu et al., 2008). Actualmente existen otras técnicas que, a diferencia de las otras, actúan positivamente sobre el suelo, son técnicas no complejas, limpias y ambientalmente aceptables mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo. Este método se basa en prácticas agronómicas comunes que tienen como fin recuperar el estado óptimo del suelo (Bernal & Carpeda, 2007).

Entonces la fitorremediación puede ser definida como un método eco tecnológico cuya finalidad es degradar, asimilar, metabolizar o desintoxicar suelos y aguas con alta presencia de metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroderivados (Chavez, 2014), por medio de la utilización de plantas y sus microorganismos o enzimas asociadas, así como de la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante que tengan la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, degradar, limpiar y transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas (Sierra, 2006).

Además, es un proceso de descontaminación que mediante el empleo de plantas pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelo, sedimentos y agua, como solventes, plaguicidas, hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radiactivos, fertilizantes y otros (Bonilla, 2013).

Según (Henry, 2000) la fitorremediación actualmente está evolucionando a una alternativa viablemente rentable a diferencia los métodos convencionales que hacen uso de

alta energía y alto costo. Está considerada en el campo de la limpieza innovadora como una "revolución verde".

La tecnología innovadora de fitorremediación abarca una serie de métodos basados en el manejo de especies vegetales y microorganismos coligados, para extraer, acumular, inmovilizar o transformar los contaminantes del suelo de manera natural para lograr la remoción e inactividad de los contaminantes tóxicos, se ha distribuido en diferentes categorías o mecanismos, entre las cuales destacan la fitoextracción, la fitoinmovilización, la fitovolatilización, fitodegradación y la fitoestabilización (Vilcapaza, 2018).

### ***2.9.1 Ventajas de la Fitorremediación***

Frente a las tradicionales técnicas físico-químicas, la fitorremediación presenta diversas ventajas. Según (Henry, 2000) una ventaja resaltante e importante de la fitorremediación es que una variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos son susceptibles al proceso de fitorremediación. Según (Huerta, 2019) otra de las ventajas en el proceso de descontaminación de suelos con metales pesados como el plomo, es que se puede utilizar diferentes especies de plantas, con la ayuda de prácticas agronómicas comunes, y enmiendas del suelo, que pueden ser aplicadas “in situ” (no se debe transportar el sustrato contaminado) o “ex situ”.

Otra ventaja de la fitorremediación es que es una tecnología ecológica y cuando se implementa adecuadamente, es respetuosa y amigable con el medio ambiente y estéticamente agradable al público. Además de ello la fitorremediación no requiere equipos costosos ni personal altamente especializado, y es relativamente fácil de implementar, es capaz de tratar permanentemente una amplia gama de contaminantes en una amplia gama de entornos (Villagómez et al., 2011).

La fitorremediación reduce las concentraciones de iones de los metales pesados a niveles muy bajos y hace uso de materiales biosorbentes de bajo costo; la fitorremediación es posiblemente la tecnología más limpia y barata que puede emplearse en la remediación de suelos contaminados (Tangahu et al., 2011). Investigaciones realizadas afirman resultados eficientes así como confirman la aplicabilidad de esta técnica de recuperación de suelos, suministrando un panorama claro de un método de tratamiento ambiental sostenible y eficiente (Farraji et al., 2016).

### ***2.9.2 Limitaciones de la Fitorremediación***

La fitorremediación no es una técnica que pueda usarse en la recuperación de todo tipo de suelo contaminado, existen limitaciones que deben superarse para hacer uso de ella (Lopez, 2011). Investigaciones previas indican que la concentración de la contaminación, la toxicidad, la biodisponibilidad, la elección de la planta y la tolerancia al estrés son las principales desventajas de la fitorremediación (Farraji et al., 2016). Según (Tangahu et al., 2011) la fitorremediación puede ser un proceso lento y puede tomar al menos varias temporadas de crecimiento para descontaminar un sitio, además de estar limitada por la tasa de crecimiento de las plantas, es posible se requiera más tiempo para remediar un sitio en comparación con otras tecnologías de limpieza más tradicionales.

(Bernal & Carpeda, 2007) menciona que las limitaciones de la fitorremediación están vinculadas principalmente a la localización del contaminante cercano a la rizosfera, las condiciones físicas y químicas del suelo tales como el pH, la salinidad y el contenido de nutrientes, la concentración del contaminante y accesibilidad a la zona contaminada. Para llegar a superar estas limitaciones, (Gallegos et al., 2005) mencionan que es indispensable

comprender los mecanismos, las fases que participan en la fitorremediación y las interacciones de la planta con los microorganismos.

A continuación, en la Tabla se muestra un resumen de las principales ventajas y limitaciones de la fitorremediación:

Tabla 3. Ventajas y limitaciones de la fitorremediación

VENTAJAS	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un proceso que se puede realizar in situ y ex situ.</li> <li>• Es una tecnología sustentable y limpia.</li> <li>• Puede usarse con los contaminantes orgánicos e inorgánicos</li> <li>• Hace uso de materiales de bajo costo</li> <li>• Presenta una amplia gama de especies de plantas.</li> <li>• Probabilidad de ser aceptada públicamente debido a que es estéticamente agradable.</li> <li>• No requiere uso de energía ni de personal especializado para su manejo.</li> <li>• Mejora las propiedades físicas y químicas del suelo, debido a la formación de una cubierta vegetal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un método lento de descontaminación</li> <li>• No aplicable para todos los contaminantes</li> <li>• El tiempo de duración puede ser muy prolongados, a diferencia de otras técnicas de remediación</li> <li>• Acumulación de contaminantes en frutas y otras partes comestibles de cultivos y hortalizas</li> <li>• Está limitada por la tasa de crecimiento de las plantas</li> <li>• No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras</li> <li>• Se requieren áreas relativamente grandes.</li> <li>• El crecimiento y la sobrevivencia de las plantas depende por el grado de toxicidad de los contaminantes</li> </ul>

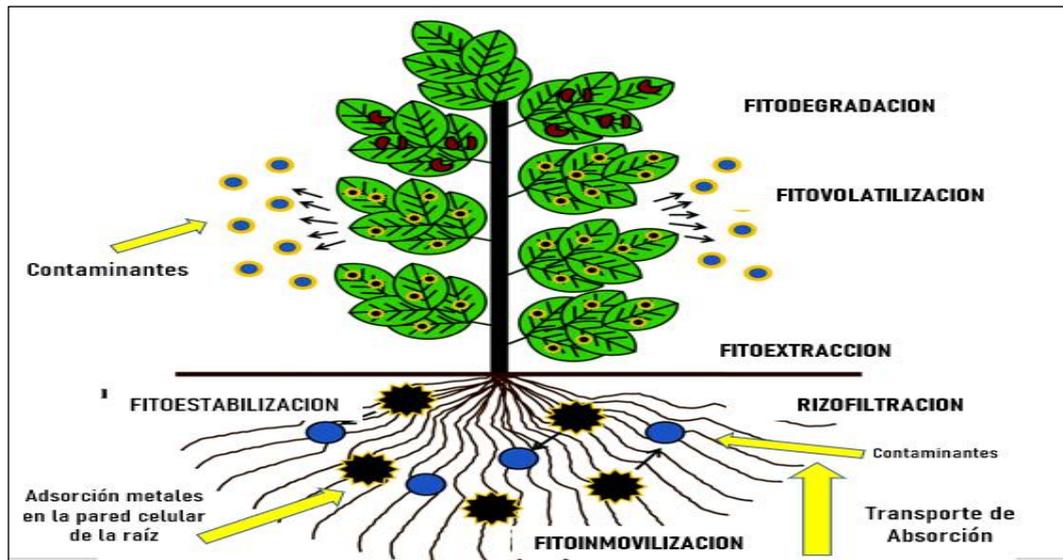
Nota: La tabla muestra las ventajas y limitaciones de la fitorremediación. Fuente:(Villagómez et al., 2011)

### 2.9.3 Mecanismos de la Fitorremediación

Existen diferentes procesos de fitorremediación que abarcan diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, según (Papuico, 2018) la fitorremediación contempla seis mecanismos básicos mediante los cuales las plantas contribuyen a la recuperación de suelos,

sedimentos y aguas contaminadas. Dependiendo de qué estrategia de recuperación se hará uso, los procesos darán lugar a dos tipos de comportamiento de los contaminantes en el suelo, que son la eliminación o la retención de los mismos (Lopez, 2011).

Figura 4. Mecanismos de la fitorremediación



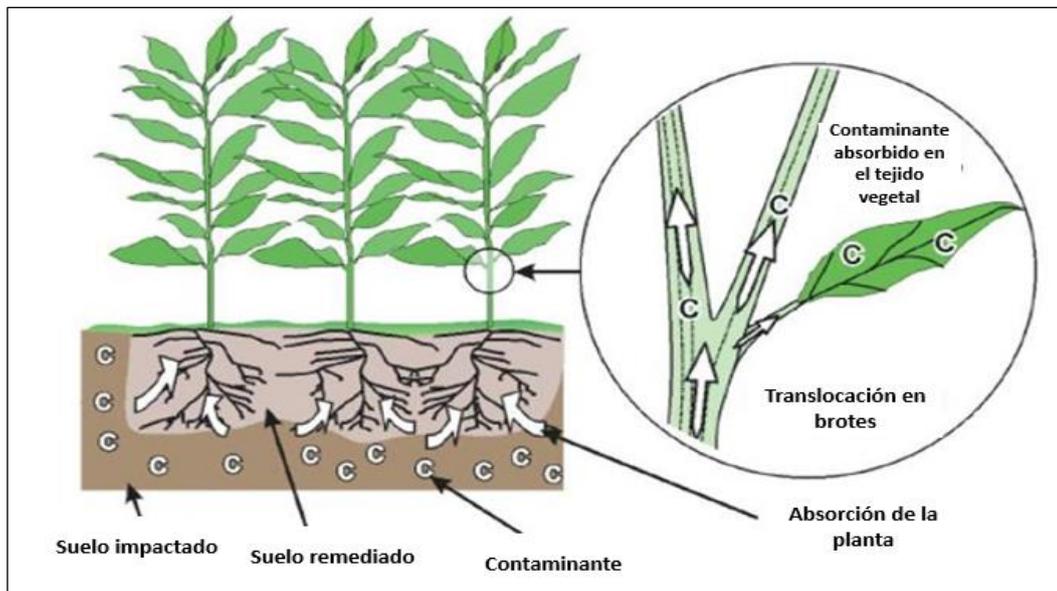
Nota: La figura muestra los mecanismos de fitorremediación, y las partes en las que se da de la planta. Fuente: (Arias-Trinidad et al., 2017)

### 2.9.3.1 Eliminación de Contaminantes

**Fitoextracción:** Este proceso hace uso de plantas acumuladoras con una capacidad específica de absorber e hiperacumular contaminantes metálicos y elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables de la planta (Bernal & Carpeda, 2007). Es conocida también como fitoacumulación, nos indica la captación de metales contaminantes por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas (Papuico, 2018). La fitoacumulación es un mecanismo que se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración contaminante de metales en el suelo, esté dentro de los límites aceptables (Villagómez et al., 2011). La eficacia del proceso de fitoextracción depende de varios factores, incluida la concentración

y la forma mineralógica del metal, el tipo de suministro del flujo regulado, la resistencia y la eficiencia, y las condiciones de crecimiento de las especies de plantas (Falcon, 2017). Actualmente, la fitoextracción extraída químicamente puede considerarse un proceso de dos pasos, donde las plantas primero acumulan metal en las raíces y luego agregan un agente quelante para trasplantar más eficientemente el metal en el tallo.

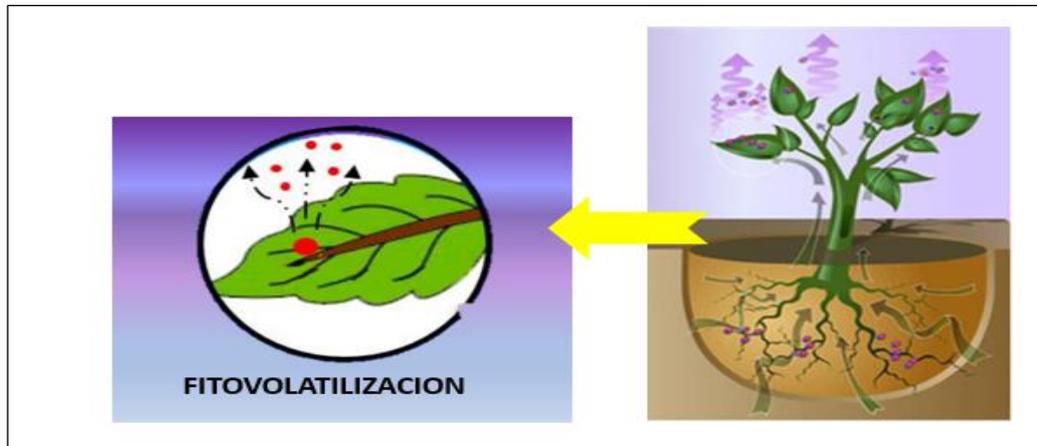
Figura 5. Fitoextracción



Nota: La figura muestra el proceso de Fitoextracción en la planta. Fuente: (Pernía et al., 2016)

**Fitovolatilización:** Este proceso implica el uso de plantas para recoger contaminantes del suelo, transformándolos en formas volátiles y transpirándolos a la atmósfera, se produce a medida que los árboles y otras plantas en proceso de crecimiento absorben el agua juntamente a los contaminantes orgánicos, algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse en la atmósfera (Lopez, 2011). La fitovolatilización también puede implicar la difusión de contaminantes de los tallos u otras partes de la planta a través de los cuales viaja el contaminante antes de llegar a las hojas (Etim, 2012).

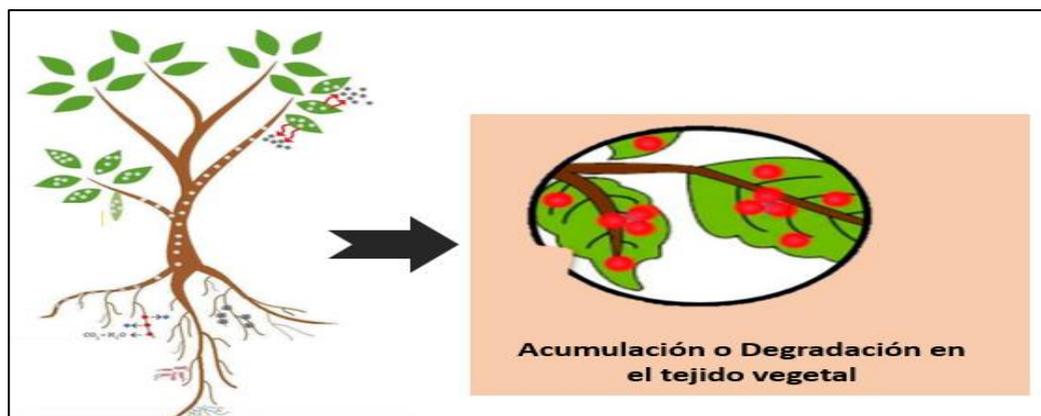
Figura 6. Fitovolatización



Nota: La figura muestra el proceso de Fitovolatización en la planta. Fuente: (Rodríguez Ramos, 2015)

**Fitodegradación:** Este mecanismo consiste en la modificación de los contaminantes orgánicos en moléculas menos complejas en el interior de la planta, disminuyendo su toxicidad (Gallegos et al., 2005). Las plantas y los microorganismos relacionados con las plantas descomponen los contaminantes orgánicos en productos inofensivos o los mineralizan con  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , este método se ha utilizado para degradar explosivos como TNT, hidrocarburos halogenados, bisfenol A, HAP, cloro orgánico y pesticidas orgánicos de fosfato (Villagómez et al., 2011).

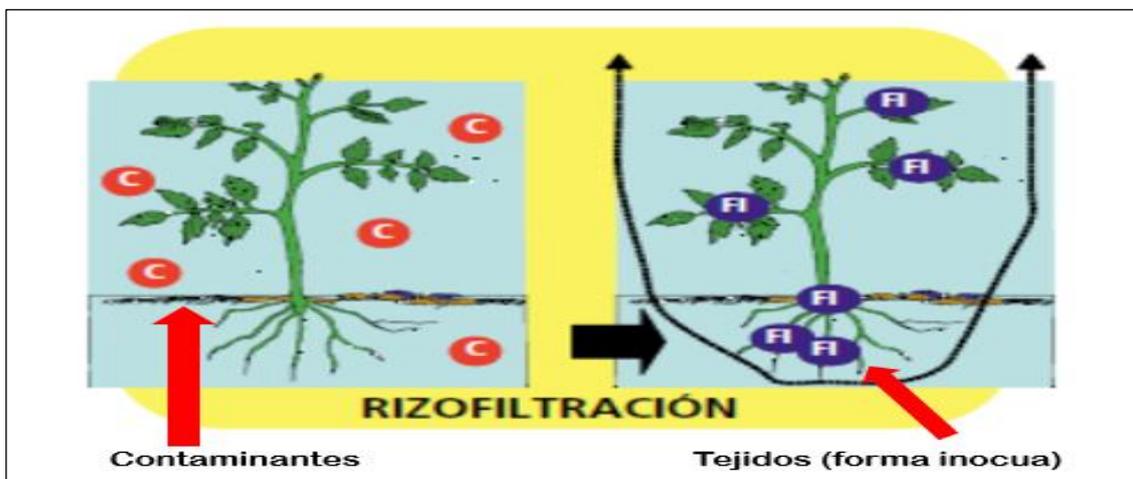
Figura 7. Fitodegradación



Nota: La figura muestra el proceso de Fitodegradación en la planta. Fuente: (Carhuaricra, 2019)

**Rizofiltración:** Consiste en el uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos, absorben los contaminantes desde el medio líquido y los concentran en sus tejidos. Parecido al proceso de Fitoextracción, pero las plantas utilizadas para la limpieza en lugar de la tierra se cultivan en invernaderos enraizados en agua (Lopez, 2011). Se emplean plantas con la capacidad de absorber, concentrar contaminantes en soluciones acuosas como plomo, cadmio, cobre, cromo, cinc y níquel (Gonzalez, 2010).

Figura 8. Rizofiltración



Nota: La figura muestra el proceso de Rizofiltración en la planta. Fuente: (Alonso, 2015)

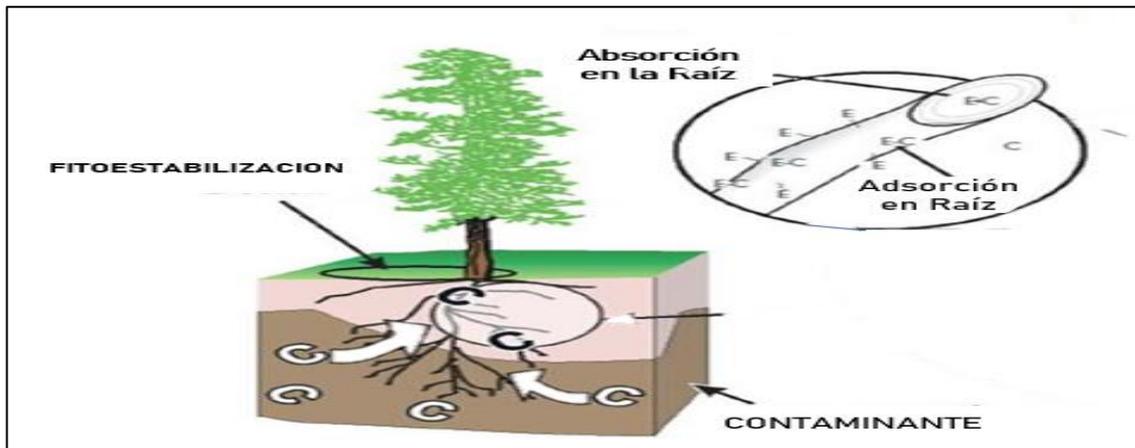
Para lograr su eficiencia es importante que las plantas posean raíces de gran área superficial, las raíces muy fibrosas tienen una alta capacidad de remoción; este tipo de proceso es usado tanto ex situ como in situ. Una vez las plantas llegan a un nivel de saturación, estas se cosechan y transportan para su disposición (Coyago & Bonilla, 2016).

### 2.9.3.2 Retención de contaminantes

**Fitoestabilización:** es el uso de ciertas especies de plantas para estabilizar e inmovilizar los contaminantes en la matriz del suelo a través de la absorción y acumulación en los tejidos de las plantas, evitando su migración en el suelo, reducen la toxicidad y

disminuyen la movilidad de los contaminantes al suelo (Tangahu et al., 2011). Tanto las plantas comunes agrícolas como hortícolas han presentado la capacidad de Fitoestabilización mejorando las propiedades físicas y químicas del medio (Trujillo, 2013).

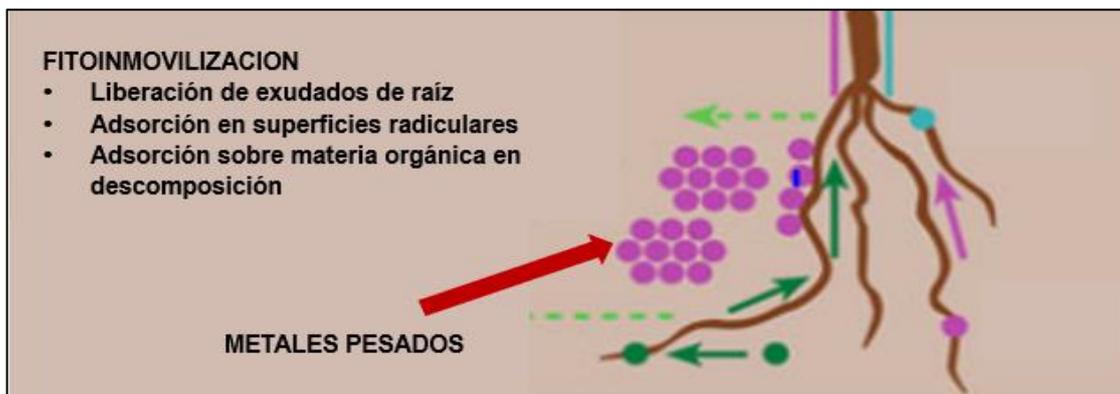
Figura 9. Fitoestabilización



Nota: La figura muestra el proceso de fitoestabilización en la planta. Fuente: (Bernal & Carpeda, 2007)

**Fitoimmobilización:** Este mecanismo hace uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Sustancias tóxicas son inactivadas por el proceso de absorción, adsorción o precipitación; lo que conduce a la retención y reducción de la biodisponibilidad de sustancias tóxicas y contaminantes (Villagómez et al., 2011).

Figura 10. Fitoimmobilización



Nota: El grafico muestra el proceso de fitoestabilización en la planta. Fuente: (Cabrera Capitán, 2005)

De los diferentes mecanismos de fitorremediación, (Henry, 2000) menciona que solo cuatro de estos mecanismos destacan para la fitorremediación de plomo, que es considerado uno de los metales pesados más difíciles de eliminar por medio de la fitorremediación. Estos cuatro son fitoextracción, fitoestabilización, rizofiltración y fitovolatilización, a continuación, se muestra los diferentes.

*Tabla 4. Mecanismos de fitorremediación de plomo.*

<b>Proceso</b>	<b>Mecanismo de Fitorremediación</b>	<b>Tipo de Contaminantes</b>
Fitoestabilización	Complejacion	Orgánicos e Inorgánicos
Fitoextraccion	Hiperacumulacion	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización mediante las hojas	Orgánicos e Inorgánicos
Fitoimovilización	Acumulación en la Rizosfera	Orgánicos e Inorgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e Inorgánicos
Fitodegradación	Uso de Plantas y Microorganismos para degradar contaminantes	Orgánicos

Nota: La tabla muestra el proceso de remediación, los mecanismos de fitorremediación para el metal pesado plomo,

## **2.10 Tolerancia de las Plantas hacia los Metales Pesados**

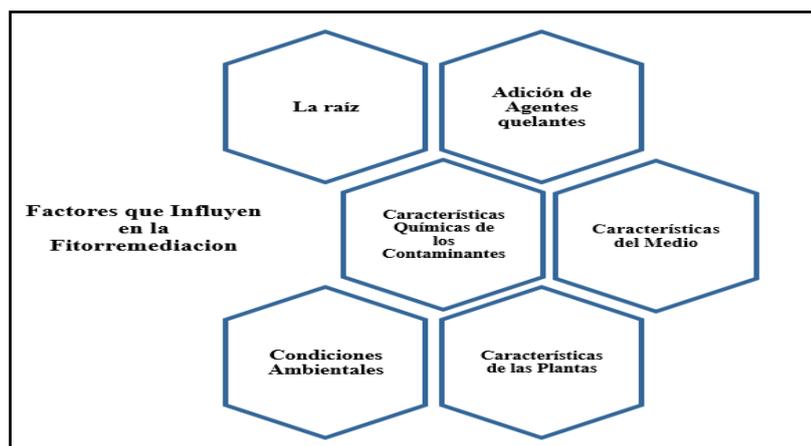
La tolerancia indica la capacidad que poseen las plantas al hacer frente a un contaminante por medio de sus propiedades intrínsecas y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente, a diferencia de resistencia que consiste en la capacidad para sobrevivir a la presencia de los contaminantes tóxicos mediante mecanismos de detoxificación producidos en respuesta al contacto directo al contaminante (Muñoz et al., 2010), (Trujillo, 2013).

La buena tolerancia y capacidad acumulativa en las plantas, sobre todo en las partes cosechables de la planta, están determinadas por la genética de la especie y también están influenciados por el lugar donde se desenvuelven, el éxito en el proceso de fitorremediación depende mucho de la tolerancia y la capacidad de la planta en suelos con altos niveles de metales y contaminantes (Amones & Barja, 2019).

## 2.11 Factores que Afectan la Eficiencia de la Fitorremediación

Los factores que influyen en la eficiencia del proceso de fitorremediación según (Liang et al., 2017) se muestran en la siguiente figura.

Figura 11. Factores que afectan la eficiencia de la fitorremediación



Nota: La figura muestra los factores que influyen en la fitorremediación. Fuente:(Velásquez, 2017)

### 2.11.1 La Zona de la Raíz

Es de especial interés en el proceso de fitorremediación, puede absorber contaminantes y almacenarlos o metabolizarlo dentro del tejido vegetal. La degradación de contaminantes en el suelo por enzimas vegetales exudadas desde las raíces es otro mecanismo de fitorremediación. (Tangahu et al., 2011). Asimismo, pueden afectar la

solubilidad, la movilización y la fitodisponibilidad de metales pesados al mejorar la solubilidad de los iones de metales pesados (Liang et al., 2017).

### ***2.11.2 Adición de Agentes Quelantes***

En el caso de fitorremediación de suelos con metales pesados, el proceso puede ser más eficaz cuando se amplifica la biodisponibilidad del metal mediante la adición de agentes quelantes o extractantes, estos forman complejos solubles fácilmente asimilados por las plantas; los quelantes principales o de más importancia que producen las plantas son las fitoquelatinas y metalotioneínas, estos juegan un papel elemental en la homeostasis y detoxificación de metales (Nuñez et al., 2004).

En general, la mayoría de los iones metálicos adsorbidos en el suelo son difíciles de extraer debido a sus altas capacidades de unión de metales, la aplicación de quelantes orgánicos biodegradables y no tóxicos avanzados podría mejorar la extracción de metales de suelos contaminados como solventes orgánicos (Liang et al., 2017).

### ***2.11.3 Características Químicas de los Contaminantes***

Las características químicas de los contaminantes en el suelo, dentro del proceso de fitorremediación influyen en el desarrollo de las plantas y podría limitar o no la colonización de plantas influyendo de manera significativa en el proceso de fitorremediación (Liang et al., 2017).

La toxicidad así como las concentraciones de los metales pesados, llegan a afectar el desarrollo de las plantas, de estos elementos, de la concentración, la forma química y su persistencia depende que el proceso se lleve a cabo eficazmente (Villagómez et al., 2011).

#### ***2.11.4 Características del Medio***

Es bien sabido que las propiedades del suelo pueden afectar la movilidad del metal, por lo tanto, puede influir en el proceso de fitorremediación. El pH del suelo es un factor importante que influye en la biodisponibilidad de los metales en el suelo para la absorción de las plantas (Liang et al., 2017). El pH es considerado como un elemento fundamental relacionado con la solubilidad de los metales y su consistencia en el suelo, es decir, la solubilidad de los metales y su disponibilidad aumenta a medida que el pH del suelo disminuye (Chavez, 2014)

Para mejorar la remediación se desarrollan prácticas agronómicas mejorando así las propiedades del suelo, haciendo un ajuste de pH, adición de quelantes y fertilizantes. Por ejemplo, la cantidad de plomo absorbido por las plantas se ve afectada por el pH, la materia orgánica y el contenido de fósforo del suelo (Tangahu et al., 2011).

#### ***2.11.5 Condiciones Ambientales***

Las condiciones ambientales afectan el proceso de fitorremediación influenciando en la movilidad de metales pesados en sedimentos que dependen de procesos biogeoquímicos (Liang et al., 2017). Las condiciones ambientales, clima y la temperatura afectan el crecimiento de la planta y por lo tanto también influye en la longitud de la raíz (Tangahu et al., 2011).

#### ***2.11.6 Características de las Plantas***

La absorción de un compuesto o contaminante del suelo se ve afectado por las características de las especies vegetales, se seleccionan especies o variedades de plantas con propiedades superiores de remediación; actualmente existen diferentes especies de plantas

con capacidades de acumulación y traslocación de metales y contaminantes. El éxito en el proceso de fitorremediación depende de la identificación de especies adecuadas que hiperacumulan y degradan contaminantes, produciendo grandes cantidades de biomasa utilizando prácticas establecidas de producción y manejo de cultivos (Tangahu et al., 2011).

## **2.12 Factores que influyen en la remoción de contaminantes del Suelo**

La remoción de metales pesados con plantas, depende de varios factores, entre ellos resalta el nivel de contaminación del suelo, el contacto de las raíces a los contaminantes (biodisponibilidad de metales) y la capacidad de las plantas de absorber, acumular y atenuar los contaminantes del suelo, sin presentar cambios o efectos fitotóxicos (Vangronsveld et al., 2009).

### ***2.12.1 Nivel de Contaminación del Suelo***

Los contaminantes o metales pesados pueden llegar a permanecer por un largo periodo de tiempo en el suelo, en caso de compuestos inorgánicos como los metales pesados puede llegar a ser grave ya que estos son difícilmente degradables (Abanto & Carrera, 2018); es por tal motivo que el nivel de contaminación en el que se encuentra el suelo, puede llegar a ser uno de los factores que limita el éxito de la fitorremediación, dependiendo del grado de contaminación de suelos, el crecimiento de las plantas se verá afectado o no será muy viable en suelos altamente contaminados (Chavez, 2014)

### ***2.12.2 Biodisponibilidad del Metal Pesado***

La biodisponibilidad nos indica la cantidad o concentración de un elemento que está disponible para los organismos vivos y determina la interacción que hay entre la concentración de dicho elemento en el suelo y el nivel introducido en el organismo (Lago,

2018), la biodisponibilidad de un elemento está en función de las interacciones físicas, químicas y biológicas que determinan la exposición de los organismos (plantas) a los contaminantes presentes en el suelo (Rodríguez et al., 2019).

Los contaminantes o metales pesados pueden llegar a ser acumulados en el organismo, es decir en la planta (bioacumulación) hasta tres, cuatro o cinco veces más que la concentración del medio donde vive (Galán & Romero, 2008).

La biodisponibilidad del metal pesado en el suelo puede ser considerado como un factor importante para determinar el nivel de toxicidad de un contaminante, asimismo para determinar la eficiencia en el proceso de remoción de metales pesados; la biodisponibilidad implica la fracción de contaminante que puede ser tomada por la planta y su abundancia está relacionada a factores físicos, químicos y biológicos (Chavez, 2014).

### ***2.12.3 Factores Físicos***

La textura del suelo es un factor relevante que está relacionado con la capacidad de vincular y mantener en su disposición al contaminante o metal pesado, la textura juega una función importante en la determinación de la fitotoxicidad del metal pesado presente en el suelo (Amones & Barja, 2019). Por ejemplo, un suelo de textura arcillosa puede llegar a adsorber a los metales, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio a diferencia de los arenosos carecen de capacidad de fijación y puede contaminarse el nivel freático. (Torres, 2018) (Galán & Romero, 2008).

### ***2.12.4 Factores Químicos***

El pH un parámetro importante a considerar en la biodisponibilidad de metales pesados ya que su valor influye directamente en la solubilidad de los cationes, en algunos

los fijara, disminuyendo su solubilidad aparente, con lo que las plantas no podrán absorberlos y por el contrario, en otros casos favorecerá su movilidad aumentando su concentración alcanzando niveles tóxicos (Torres, 2018). La mayoría de los metales pesados tienden a estar más disponibles en medios ácidos, la biodisponibilidad del metal es casi siempre inversamente proporcional al pH del suelo es decir menor pH mayor biodisponibilidad y peligrosidad (Dueñas, 2015) (C. García et al., 2002).

La aparición de agentes quelantes es otro factor que influye en la biodisponibilidad de los metales, estos pueden hallarse en forma natural como los ácidos orgánicos de peso molecular bajo y las sustancias húmicas, o forma añadida como el EDTA (Amones & Barja, 2019) los quelantes son factores químicos que poseen la capacidad de formar complejos estables con los iones de los contaminantes, lo cuales incrementa la especiación del metal y su disponibilidad en el suelo (Lago, 2018).

#### ***2.12.5 Factores Biológicos***

La actividad microbiana, en especial bacterias y los hongos, también serán indispensables en la biodisponibilidad de los contaminantes, debido a que los microorganismos tienen la capacidad de degradar y transformar ciertos contaminantes, dejando subproductos y afectando a su toxicidad y movilidad (Rodríguez et al., 2019) la actividad microbiana en el suelo puede inmovilizar metales y las bacterias afectan la biodisponibilidad al adsorber metales a través de grupos orgánicos funcionales de su pared celular (Torres, 2018).

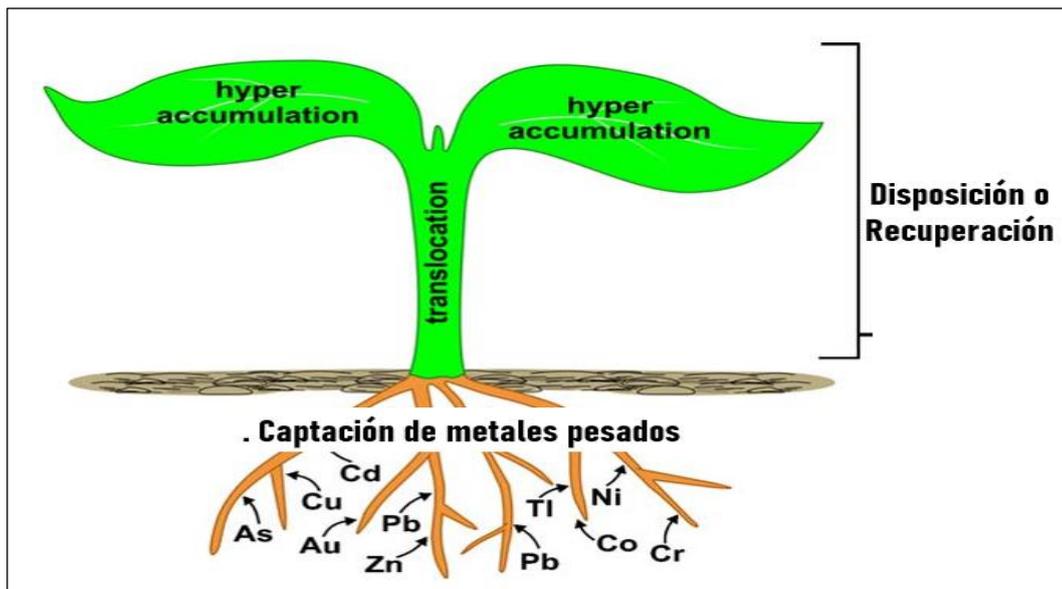
## 2.13 Mecanismos de Secuestro de Metales Pesados en la Planta

Gran eficiencia en desintoxicación y secuestro es una clave propiedad de hiperacumuladores que les permite concentrarse enormes cantidades de metales pesados en órganos sobre el suelo sin sufrir ningún efecto fitotóxico (Rascio & Navari, 2011).

### 2.13.1 Plantas Hiperacumuladoras

Actualmente existen plantas que poseen una capacidad notable de adecuación y adaptación a condiciones de elevadas concentraciones de metales pesados, estas son consideradas plantas hiperacumuladoras, estas son más veloces en la captación de metales pesados en altas concentraciones, sin afectar su crecimiento o sus características fisiológicas (Abanto & Carrera, 2018). La interacción de metales pesados en concentraciones altas y plantas hiperacumuladoras se vuelve aún más sorprendente, tomando en cuenta que ocurre principalmente en las hojas de la planta, donde se realiza la fotosíntesis, esencial para la supervivencia de las plantas (Rascio & Navari, 2011).

Figura 12. Plantas Hiperacumuladoras



Nota: La figura muestra el mecanismo de las plantas hiperacumuladoras. Fuente: (Coto Marrero et al., 2012)

Para lograr con eficiencia la extracción de contaminantes con plantas hiperacumuladoras, se debe tener en cuenta varios aspectos; primeramente, el grado de tolerancia que posee la planta hacia el contaminante, esto definirá la capacidad acumuladora de la planta (Gonzalez, 2010). Del mismo modo la particularidad de tener un crecimiento rápido y un alto desarrollo de biomasa, así mismo la capacidad acumuladora en partes cosechables de la planta; básicamente el proceso de fitorremediación está ligado a la capacidad de la planta de soportar, tolerar y subsistir en suelos con altos niveles de contaminantes (Amones & Barja, 2019).

## **2.14 Plantas Ornamentales**

### **2.14.1 *Pelargonium Hortorum***

Es generalmente conocida como malvón, cardenal, geranio común o geranio de jardín, es un híbrido originado por cruzamiento de *P. inquinans* y *P. zonale*, utilizada en jardinería como planta decorativa. Las especies de *Pelargonium* de mayor importancia económica en la industria de la planta ornamental son: el geranio zonal o común (Marise, 2002).

Pertenece a la familia de *Geraniaceae*, son comunes en casi todas las regiones templadas del mundo, es una planta aromática y ornamental que crece en amplias ubicaciones geográficas en el mundo, especialmente en la región del Mediterráneo oriental donde se originó (Mahdieh & Yazdani, 2013). El género *Pelargonium hortorum*, comúnmente llamado geranio, consta de 422 especies de plantas anuales, bienales y perennes que a menudo se usan en la horticultura con flores atractivas y aromas únicos, es conocida por ser una planta ornamental por su vistosas y prolifera floración, forma parte importante de los jardines tanto públicos como privados (Álvarez et al., 2009). Sus hojas son simples,

palmeadas, lobuladas o directas, presenta un tallo principal aéreo alargado con ramas floridas en el ápice, su tallo puede crecer hasta 45 cm (Rodríguez de Brujón, 2018). Las tonalidades verdes varían en función de la variedad y suelen tener una ‘zona’ característica en el centro del haz y paralela al borde de la hoja. A esta característica le debe su nombre el de geranio zonal (*Pelargonium x hortorum*). La banda es debida a la presencia de antocianinas y puede ser de color negro, castaño, rojo, bronce o carmín (Marise, 2002).

Actualmente existen estudios con el Geranio utilizándose como una especie fitorremediadora de suelos contaminados con metales pesados, analizando la capacidad de la planta para retener contaminantes y el tiempo en que la especie retiene los metales pesados, se demostró que esta planta posee gran tolerancia, extrayendo los metales pesados tales como el níquel, cadmio y plomo como lo demuestra (Krishnaraj et al., 2002) y (Ríos, 2017) indicando la eficacia de esta especie vegetal para la descontaminación de múltiples sitios contaminados con metales pesados, las partes de la planta con mayor acumulación según los estudios realizados fueron raíces, tallos y hojas siendo la parte radicular con mayor acumulación que las partes aéreas. El geranio se caracteriza por ser una planta hiperacumuladora de metales pesados, como también lo demostró (E. L. García, 2011) en su estudio de fitoextracción de Pb con tres plantas diferentes, obteniendo resultados eficientes con el geranio, siendo esta la planta que mayores concentraciones de Plomo absorbió.

*Figura 13. Pelargonium hortorum*



Fuente: Propio

### 2.14.2 *Tradescantia Pallida*

Su nombre común es *Purpurina* o *Barquito Morado*, es una especie vegetal ornamental, originaria de México, es una herbácea rastrera de color púrpura o vino tinto con una altura máxima de 30 cm; capaz de adaptarse a varios tipos de suelo, posee hojas en forma de “V” o oblongoelípticas a elíptico-lanceoladas, de aproximadamente 5-10 cm de color rojizas a color violeta púrpúreo debido a los pigmentos presentes en los cloroplastos denominados antocianinas, sus flores poseen tres pétalos rosados, pequeñas y terminales, su tallo es frágil y posee raíz tuberosa primaria, típica de las monocotiledóneas, requiere de lugares con abundante luz preferiblemente en lugares de pleno sol para una coloración intensa en las hojas, también puede adaptarse a la sombra, se desarrolla en climas cálidos puede tolerar hasta 3 °C de clima (Canul, 2014), presentan un tipo de crecimiento progresivo, que crece en suelos con un pH de 5.5 a 8 y requiere suelos con capacidad de drenaje, pero no demasiado secos, sus tallos se rompen fácilmente. Tiene una velocidad de propagación vegetativa rápida, se reproduce por división y esquejes. Actualmente no se han realizado muchos estudios sobre el uso de esta planta para la fitorremediación de suelos contaminados no obstante se ha utilizado para otros estudios en la rama ambiental (Pajoy, 2017).

Figura 14. *Tradescantia Pallida*



Fuente: Propio

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del Área de Experimentación

La presente investigación de tipo experimental se llevó a cabo “ex situ bajo” condiciones de escala piloto en una vivienda. El lugar de experimentación se encuentra en la Asociación Buenos Aires, Carapongo perteneciente al distrito Lurigancho - Chosica, departamento de Lima, geográficamente se encuentra ubicada entre las coordenadas 11°99'98.5"; Latitud Sur y 76°86'98.0"; Longitud Oeste, a unos 850 m.s.n.m. de altitud.

##### 3.1.1 Descripción de la Zona de Muestreo

El suelo contaminado con Pb fue extraído de la zona de las Lomas de Carabayllo perteneciente al distrito Carabayllo, departamento de Lima. Donde se establecieron 7 puntos diferentes para la extracción de las muestras, de los cuales 3 fueron significantes.

Tabla 5. Puntos de muestreo

Coordenadas		Altitud
Latitud Sur	Longitud Oeste	
11°83'05.7"	77°06'44.3"	238 m.s.n.m.
11°83'20.6"	77°06'30.1"	
11°83'21.1"	77°06'45.1"	

### 3.2 Materiales de Investigación

Para llevar a cabo cada una de las etapas de estudio, se utilizaron los siguientes materiales, descritos en las tablas.

Tabla 6. *Materiales en Gabinete*

Materiales	Cantidad	Detalle
Cuaderno de apuntes	1	
Lapiceros	1	
Dispositivo USB	1	16 gb
Registro de campo	1	
Hojas bond	10	
Cámara	1	Motorola G6
GPS	1	
Laptop	1	Core Tm i5
Impresora	1	Epson L3160

Tabla 7. *Materiales de muestreo*

Materiales	Cantidad	Unidades
GPS	1	Unidad
Rastrillo	1	Unidad
Pala	1	Unidad
Pico	1	Unidad
Bolsas hermeticas	7	Unidad
Balde	1	Unidad
Balanza	1	Unidad

Tabla 8. *Materiales para la siembra de especies.*

Materiales	Cantidad	Unidades
Especie de planta “Tradescantia Pallida” (Barquito Morado)	5	Unidad
Especie de planta “Pelargonium Hortorum” (Geranio)	5	Unidad
Rastrillo	1	Unidad
Pala	1	Unidad
Pico	1	Unidad
Kit de jardinería	1	Unidad

Recipientes plasticos	24	Unidad
Agua	2	Lt

*Tabla 9. Recolección y Trasplante de plantas*

Materiales	Cantidad	Unidades
Suelo contaminado con plomo	144	Kg
Mallas	2	Mt
Pala	1	Unidad
Maceteros	24	Unidad
Balde	2	Unidad
Kit de jardinería	1	Unidad
Mandil	1	Unidad
Guantes quirúrgicos	1	Unidad
Mascarilla	1	Unidad

### 3.3 Metodología

Muestra los procesos para llevar a cabo la evaluación de capacidad fitorremediadora de las especies *Tradescantia Pallida* y *Pelargonium Hortorum* en suelos contaminados de la zona de las Lomas de Carabayllo.

- ETAPA II:

- Fase I:
  - Recolección de Muestras.
  - Caracterización fisicoquímica del suelo.

Fase II

- Sembrado de Plantas.
- Análisis de las especies
- Recolección y Trasplante. de plantas.

- ETAPA III:

- Seguimiento del tratamiento y muestras finales.

- ETAPA IV:

- Evaluación y análisis de resultados

Etapa I

“Tradescantia Pallida” y  
“Pelargonium Hortorum”

- ETAPA I:
  - Revisión y Recopilación de información.
  - Selección de Especies Vegetativas.

Evaluación de la  
Capacidad  
Fitorremediadora  
de las especies



### **3.4 Metodología Experimental**

La metodología que se utilizó para cumplir con los objetivos propuestos fue dividida en etapas:

#### **3.4.1 Etapa 1:**

##### **3.4.1.1 Revisión y Recopilación de información**

Se hizo la búsqueda y documentación de todos los aspectos generales y elementos de interés con respecto al tema de fitorremediación, así como información relevante del metal pesado Plomo (Pb) y sus impactos causados en el suelo.

Además, se realizó una recopilación de información, estudios y una investigación histórica del lugar donde se obtendrá el suelo con plomo, además de una visita de reconocimiento para llevar a cabo el plan de muestreo de identificación en las áreas de potencial interés.

##### **3.4.1.2 Selección de Especies Vegetativas**

Para la selección de las especies vegetativas previo a la experimentación, se realizó una investigación bibliográfica. Se evaluaron los aspectos del Geranio y el Barquito Morado, estas son ornamentales, crecen en cualquier época del año y crecen en climas templados o cálidos, capaces también de soportar hasta climas bajos, según estudios son capaces de adaptarse a casi todo tipo de climas y suelo siempre y cuando permanezca a la exposición de luz directa. Ambas plantas fueron usadas para fines en materia ambiental, dando resultados positivos.

### **3.4.2 Etapa 2**

En esta etapa se realizó la identificación y muestreo del suelo contaminado con Pb en Lomas de Carabayllo, para ello, se determinó puntos diferentes de muestreo para sus respectivos análisis, esta etapa fue dividida en dos fases:

#### ***Fase 1***

##### **3.4.2.1 Recolección de Muestras:**

Se realizó en dos visitas, la primera fue la visita de reconocimiento en Lomas de Carabayllo, lugar donde se identificaron 7 distintos puntos para realizar el análisis de suelo, en la segunda visita se realizó muestreo de identificación, este fue realizado tomando como referencia la Guía de muestreo para suelos del MINAM (2014), por ello fue tomado en cuenta puntos de potencial interés identificados en la visita de reconocimiento. De acuerdo con ello, las muestras se extrajeron de los puntos ya establecidos, con ayuda de una lampa, cada punto de muestreo se cuarteó su respectiva muestra y se extrajo una porción representativa de 500 g, fueron un total de 7 muestras representativas de los puntos establecidos respectivamente, estas se embolsaron, etiquetaron y se trasladaron al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Agraria La Molina (UNALM), para ser medida la concentración inicial de plomo. Los resultados dieron a conocer que tres de los siete puntos muestreados contenían diferentes concentraciones de Pb, a estos se les designó el nombre de: el punto 1, el punto 2 y el punto 3.

### **3.4.2.2 Caracterización físico-química del suelo:**

Se realizó análisis físicoquímico a cada una de las muestras de suelo, con el fin de identificar el estado actual del suelo, donde fueron tomados el pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, como indicadores principales en el estudio, también la clase textural para conocer el tipo de suelo de nuestro estudio. Los parámetros físicoquímicos fueron realizados con el fin de identificar su comportamiento en relación con el contenido de plomo, de esta manera detectar la ocurrencia de cambios en las propiedades del suelo bajo cada tratamiento.

#### *Fase 2*

### **3.4.2.3 Sembrado de Plantas:**

Se realizó plantado por esquejes con las dos especies de plantas “Tradescantia Pallida” (Barquito Morado) y “Pelargonium Hortorum” (Geranio), se procedió a cortar parte del tallo de cada planta, fue retirada las hojas inferiores, obteniendo un total de 12 esquejes por especie. Una vez el terminado se introdujo en un recipiente con agua para que desarrolle las raíces durante 3 días, tras aparecer las raíces, fueron colocadas en una parcela de tierra. El riego fue aspersión, el cual aseguro la humectación uniforme del suelo y fue realizado periódicamente 3 veces por semana. Los esquejes florecieron en 3 semanas, listos para el trasplante a las macetas.

### **3.4.2.4 Análisis de las especies:**

Para el análisis inicial de plomo en tejidos planta se realizó un análisis foliar de las especies “Tradescantia Pallida” (Barquito Morado) y “Pelargonium Hortorum” (Geranio) de sus diferentes órganos (raíz, tallo, hojas y flores) por cada planta. Se embolsaron en bolsas, etiquetaron y se llevó al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes

(LASPAF) de la Universidad Agraria La Molina (UNALM), lugar donde fue realizado el análisis.

### **3.4.2.5 Recolección y Trasplante de plantas:**

Fue acondicionado un área adecuada para la aplicación de los tratamientos:

#### **3.4.2.5.1 *Área de Acondicionamiento***

Para la investigación, se acondiciono un área adecuada para el desarrollo de las plantas, teniendo en cuenta la temperatura y parcela de tierra del tamaño adecuado para la estadía de las plantas contenidas en macetas, esto se llevó a cabo en una vivienda se encuentra en la Asociación Buenos Aires, Carapongo perteneciente al distrito Lurigancho – Chosica.

#### **3.4.2.5.2 *Elementos de la experimentación***

- Sustrato

El suelo contaminado se obtuvo de la zona Lomas de Carabayllo, se aplicaron 3 tratamientos o niveles de concentración de Pb; después de la identificación de la cantidad de contenido de plomo en suelo. La concentración de plomo del punto 1 resulto ser 510.28 mg/kg, el cual fue designado como tratamiento 1; la concentración de plomo del punto 2 fue 214.96 mg/kg, el cual fue designado como tratamiento 2; la concentración de plomo del punto 3 fue 148.35 mg/kg, el cual fue designado como tratamiento 3. Así también se realizó la medida de un suelo agrícola el cual fue designado como suelo testigo, suelo que resulto tener 49.14 mg/kg, este fue designado tratamiento 4 o suelo testigo.

Se extrajeron en total 36 kg de suelo por cada tratamiento o niveles de concentración de plomo (Pb) para formar parte del sustrato del tratamiento.

- Maceteros

Para la aplicación del tratamiento al inicio se usaron bolsas plásticas negras y al pasar los días fueron puestas en maceteros, se utilizaron un total de 24 maceteros.

#### **3.4.2.5.3 *Trasplante de plantas***

Fueron empleados 6 maceteros por cada tratamiento, a estos se colocó el suelo contaminado con plomo según cada tratamiento, siendo trasplantadas las plantas a estos maceteros, útiles para retener la humedad del suelo, promoviendo un ambiente propicio para el crecimiento de las plantas, estos maceteros están provistos de orificios en la base, necesarios para el drenaje del agua en exceso a una temperatura y humedad ambiental promedio. La adición de agua a los fue por aspersión, el cual asegurará la humectación uniforme del suelo.

Se trabajó con 12 plantas de la especie “Tradescantia Pallida” (Barquito Morado) y 12 plantas de la especie “Pelargonium Hortorum” (Geranio), cada macetero consto de un individuo de planta con una capacidad de aproximada de 6 kilos de suelo contaminado por maceta.

### **3.4.3 *Etapa 3***

#### **3.4.3.1 Seguimiento del tratamiento y muestras finales**

Se realizo a los 0, 45 y 90 días el seguimiento de las concentraciones de plomo en suelo y medidas del crecimiento de la planta de cada tratamiento. Los análisis de parámetros fisicoquímicos de suelo y el análisis concentración de plomo en las plantas fueron realizados al inicio y al final de la etapa de experimentación.

Al término de la experimentación se retiró cada especie de planta y fue dividida en parte aérea (tallo, hojas y flores) y parte radicular (raíz); así también las muestras de suelo se extrajeron una vez retiradas las plantas, y se llevaron a analizar.

#### **3.4.4 Etapa 4**

##### **3.4.4.1 Evaluación y análisis de resultados**

Todos los datos fueron analizados mediante los siguientes programas: - Software estadístico R, para tener análisis precisos y confiables.

- Microsoft Excel, sintetizaron en cuadros y gráficos para un mejor manejo de interpretación de datos.

#### **3.5 Diseño de investigación**

Para la presente investigación se utilizó el diseño estadístico de modelo DBCA.

Diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA).

$$Y_{kn} = \mu + T_k + \beta_b + \epsilon_{kn}$$

$Y_{kn}$  = variable de respuesta

$\mu$  = media global

$T_k$  = efecto del tratamiento

$\beta_b$  = efecto del bloque

$\epsilon_{kn}$  = error aleatorio

### 3.6 Análisis Estadístico

Tabla 10. Diseño estadístico

			BLOQUES		
			REPETICION	REPETICION	REPETICION
			1	2	3
TRATAMIENTO	Tradescantia Pallida	T 1	1	1	1
		T 2	1	1	1
		T 3	1	1	1
		T 4	1	1	1
	Pelargonium Hortorum	T 1	1	1	1
		T 2	1	1	1
		T 3	1	1	1
		T 4	1	1	1

Donde:

T1: Tratamiento 1, Suelo con 510.28 ppm de plomo.

T2: Tratamiento 2, Suelo con 214.96 ppm de plomo.

T3: Tratamiento 3, Suelo con 148.35 ppm de plomo.

T4: Tratamiento 4 - Suelo testigo, Suelo con 49.14 ppm de plomo.

El análisis estadístico se realizó al 95% de intervalo de confianza ( $\alpha < 0.5$ ).

### 3.7 Variables de Estudio

- **Independiente:**

- Tradescantia Pallida
- Pelargonium Hortorum

- **Dependiente:**

- Remoción de Pb en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabaylo.

### **3.8 Operacionalización de Variables**

HIPOTESIS	VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
<p>H1: Las especie “Tradescantia Pallida” y “Pelargonium Hortorum”, si presentan capacidad de fitorremediadora en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo.</p>	<p>Variable independiente: La especie “Tradescantia Pallida” y “Pelargonium Hortorum”</p>	<p>El Pelargonium hortorum y Tradescantia pallida son plantas ornamentales con capacidad de desarrollarse en suelos con alta concentración de metales pesados, se pueden considerar plantas hiperacumuladoras.</p>	<p>Se realizaran tres tratamientos al suelo contaminado con plomo, para poder determinar así la eficiencia de remocion por medio de la concentración de plomo en sus tejidos de Pb de las dos especies</p>	<p>Características biométricas</p> <p>Concentración de Pb en la parte aérea</p> <p>Concentración de Pb en la parte radicular</p> <p>Concentración de Pb total</p>	<p>Largo de la raíz</p> <p>Altura y diámetro del tallo</p> <p>Area foliar, area de las flores</p> <p>Cantidad de hojas totales, hojas enfermas y hojas muertas.</p> <p>Cantidad de Pb en las flores, hojas y tallo</p> <p>Cantidad de Pb en la raíz</p> <p>Concentración de Pb en la parte aérea + Concentración de Pb en la parte radicular</p>	<p>Razón</p>
<p>H0: Las especie “Tradescantia Pallida” y “Pelargonium Hortorum”, no presentan capacidad de fitorremediadora en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo.</p>	<p>Variable dependiente: Concentración de Pb en suelos contaminados de la zona de las Lomas de Carabayllo.</p>	<p>Se considera suelo contaminado aquel que presenta concentraciones de contaminantes por encima de los estándares nacionales de calidad del suelo.</p>	<p>Se determinará la eficacia de los tratamientos a traves de medidas periódicas de la concentración de plomo presente en el suelo.</p>	<p>Parámetros fisicoquímicos</p> <p>Concentración de Pb</p> <p>Remoción total de Pb</p> <p>Absorción total de Pb</p>	<p>pH</p> <p>Conductividad eléctrica</p> <p>Capacidad de intercambio catiónico</p> <p>Cantidad de Pb en suelo</p> <p>RT= Concentración inicial de Pb del suelo - Concentración final de Pb del suelo</p> <p>%RT= ((Concentración inicial de Pb del suelo- Concentración final de Pb del suelo) / Concentración inicial de Pb del suelo) * 100</p> <p>AT= Concentración inicial de Pb en planta - Concentración final de Pb en planta</p>	<p>Intervalo</p> <p>Razón</p>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultado de Caracterización de Suelo

Tabla 12. Resultado de análisis mecánico de Suelo

Tratamiento	Análisis mecánico			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
	%	%	%	
T1	75	20	5	Franco Arenoso
T2	74	18	5	Franco Arenoso
T3	74	17	6	Franco Arenoso
T4	41	29	30	Franco Arcilloso

Tabla 13. Resultado de análisis fisicoquímico inicial del suelo

Tratamiento	Pb (mg/hg)	pH	C.E	C.I.C
T1	510.28	7.80	4.99	6.39
T2	214.96	7.55	4.94	6.40
T3	148.35	7.48	4.93	6.41
T4	49.14	6.25	0.89	9.80

Las tablas muestran las características fisicoquímicas del suelo los tratamientos T1, T2 y T3 provenientes del distrito de Carabayllo presentan un suelo Franco Arenoso, con un pH ligeramente alcalino con ligero contenido de sales y una capacidad de intercambio catiónico alta y del tratamiento T4 proveniente del Carapongo presenta un suelo Franco arcilloso, con un pH ligeramente ácido con ligero contenido de sales y una capacidad de

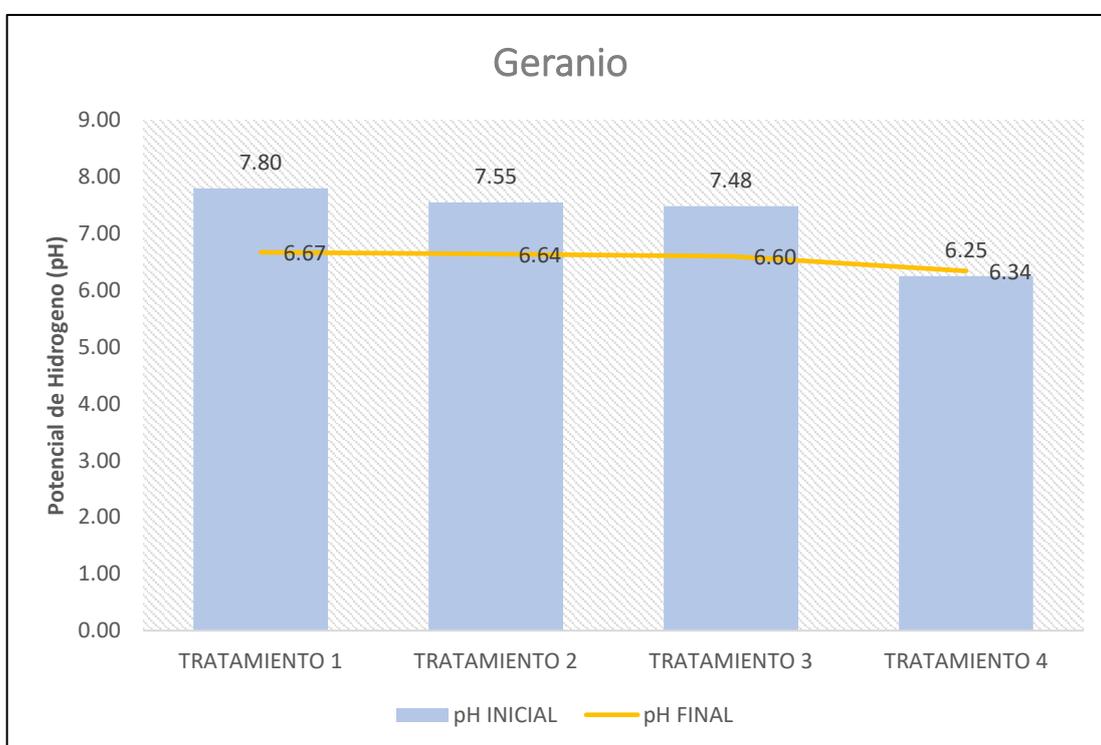
intercambio catiónico alto. El contenido de plomo en suelo da a conocer que superan el estándar de calidad ambiental para suelo.

## 4.2 Comportamiento de las Características Físicas y Químicas del Suelo

### 4.2.1 “*Pelargonium Hortorum*” (Geranio)

#### 4.2.1.1 Potencial de Hidrogeno (pH)

Figura 15. Potencial de Hidrogeno – Geranio

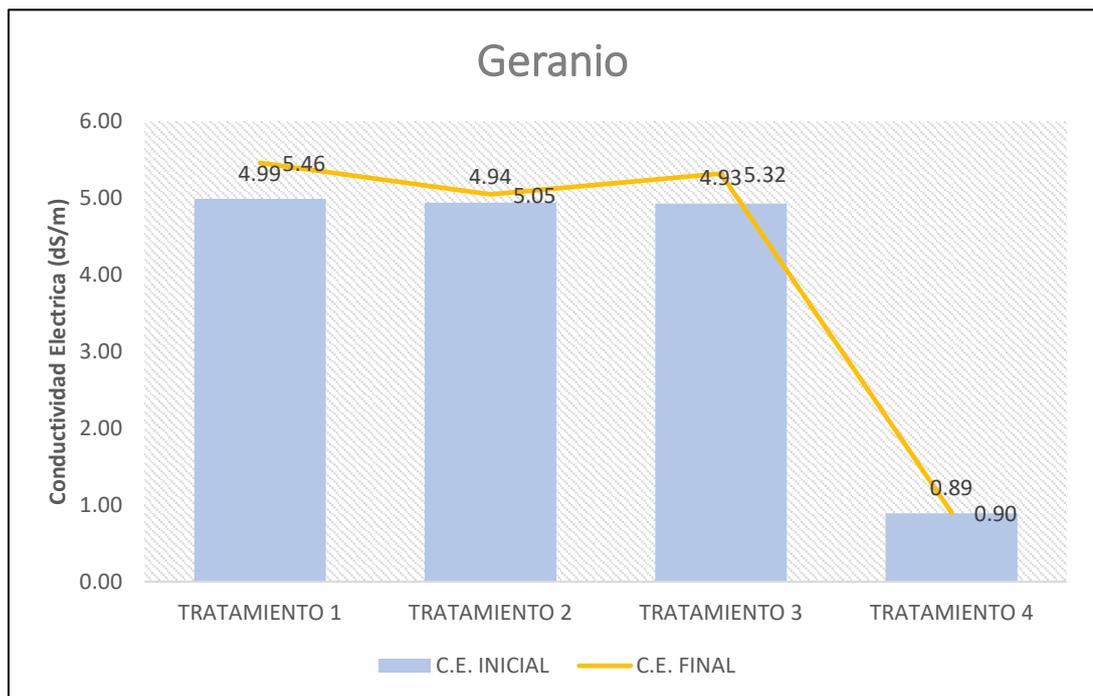


La figura 15 muestra que los Tratamientos 1, 2 y 3 tienen un pH ligeramente alcalino al inicio del tratamiento, presentando un descenso en la mayoría de los tratamientos al final del tratamiento, puede deberse a que los cationes de plomo disueltos en la solución acuosa del suelo son absorbidos por el organismo de la planta, estas liberan iones de hidronio y al entrar en contacto con sulfatos o nitratos forman compuestos y estos acidifican el suelo bajando el pH, esto coincide con lo reportado por (JULCA, 2017) en su experiencia el pH del suelo disminuyó de 7.52 a 6.95; a diferencia del Tratamiento 4 o suelo testigo que tiene

un pH ligeramente ácido al inicio del tratamiento, presentando un aumento al finalizar la fase experimental, según (Prieto Méndez, González Ramírez, Román Gutiérrez, & García, 2014) en soluciones ácidas se produce una competencia de los iones  $H^+$  con los cationes metálicos por los sitios de intercambio y al aumentar el pH, los metales pesados son removidos de la solución del suelo y adsorbidos por los coloides disminuyendo su biodisponibilidad. Por lo tanto, en suelos agrícolas con cargas variables, la retención de los cationes metálicos aumenta en la medida que el pH sea más alto y se reduce al acidificarse el suelo o el agua (ARGOMEDA, 2017).

#### 4.2.1.2 Conductividad Eléctrica

Figura 16. Conductividad eléctrica - Geranio

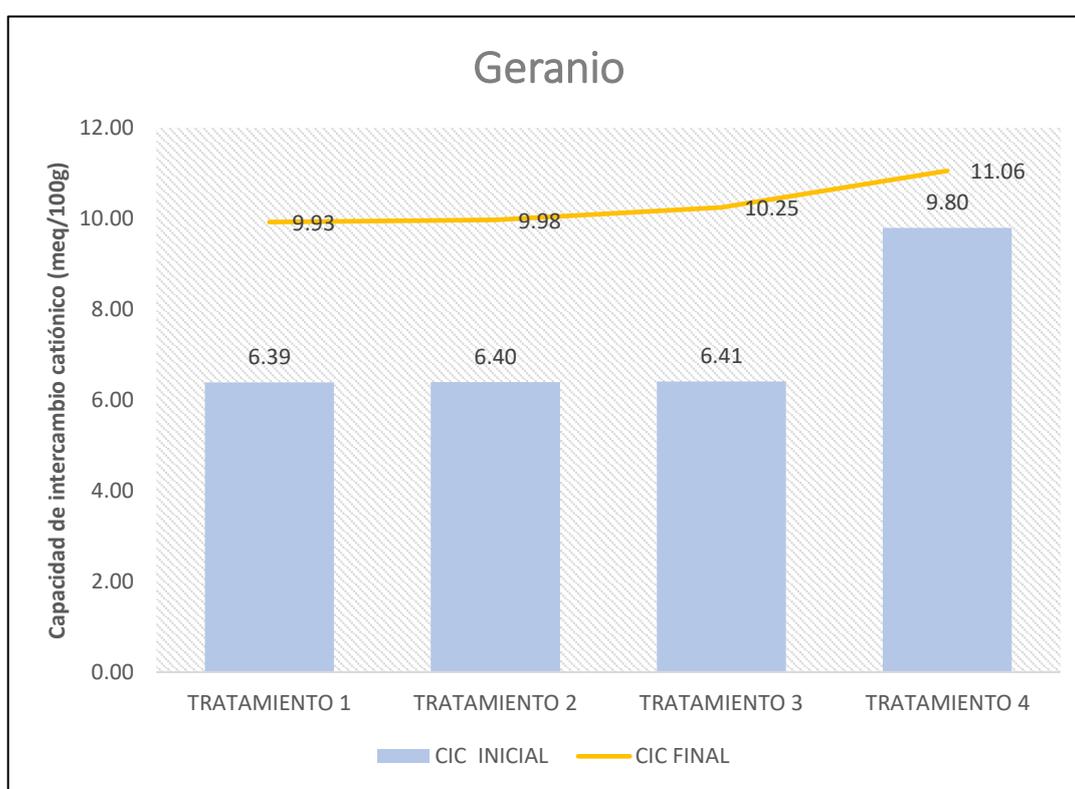


La figura 16 muestra que el Tratamiento 1 tiene un 4.99 dS/m, el Tratamiento 2 tiene un 4.94 dS/m, el Tratamiento 3 tiene 4.93 dS/m, conteniendo un nivel de salinidad ligeramente alto, a diferencia del Tratamiento 4 que contenía un nivel de salinidad bajo con 0,89 dS/m. Se observa que todos los tratamientos presentaron un incremento de CE al

finalizar la experimentación, este resultado coincide con (Aridio Pérez, 2012) investigación en la que fueron medidos el pH, la conductividad eléctrica, carbono total entre otros, para detectar cambios en las propiedades del suelo bajo diferentes manejos y procesos de recuperación en suelos explotados con actividades mineras, dando como resultado que las variables de CE en el suelo aumentaron con la edad de la planta.

#### 4.2.1.3 Capacidad de intercambio catiónico

Figura 17. Capacidad de intercambio catiónico – Geranio



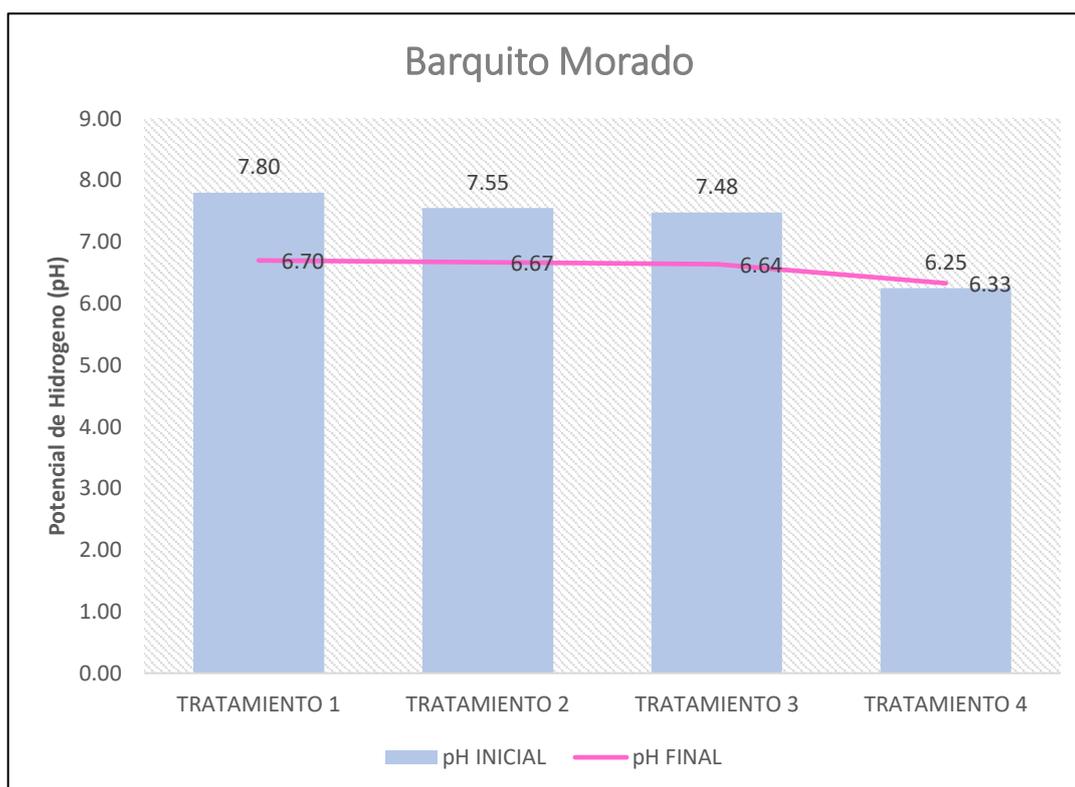
La figura 17 muestra que el Tratamiento 1 tiene un 6.39 meq/100g, el Tratamiento 2 tiene un 6.40 meq/100g, el Tratamiento 3 tiene meq/100g y el Tratamiento 4 tiene 9.80 meq/100g, llegando a aumentar todos los tratamientos al finalizar la etapa de experimentación, esto se debe a mayor capacidad de intercambio catiónico, mayor será el ingreso de cationes o aniones a la planta, es por ello que mayor fue la entrada de cationes de plomo disueltos en la solución del suelo en la planta y por ello se evidencia una disminución

de concentraciones de plomo a medida, a medida que aumento la capacidad de intercambio catiónico. (Alejandro Pérez Rosales, 2017)

#### 4.2.2 “*Tradescantia Pallida*” (Barquito Morado)

##### 4.2.2.1 Potencial de Hidrogeno (pH)

Figura 18. Potencial de Hidrogeno - Barquito morado

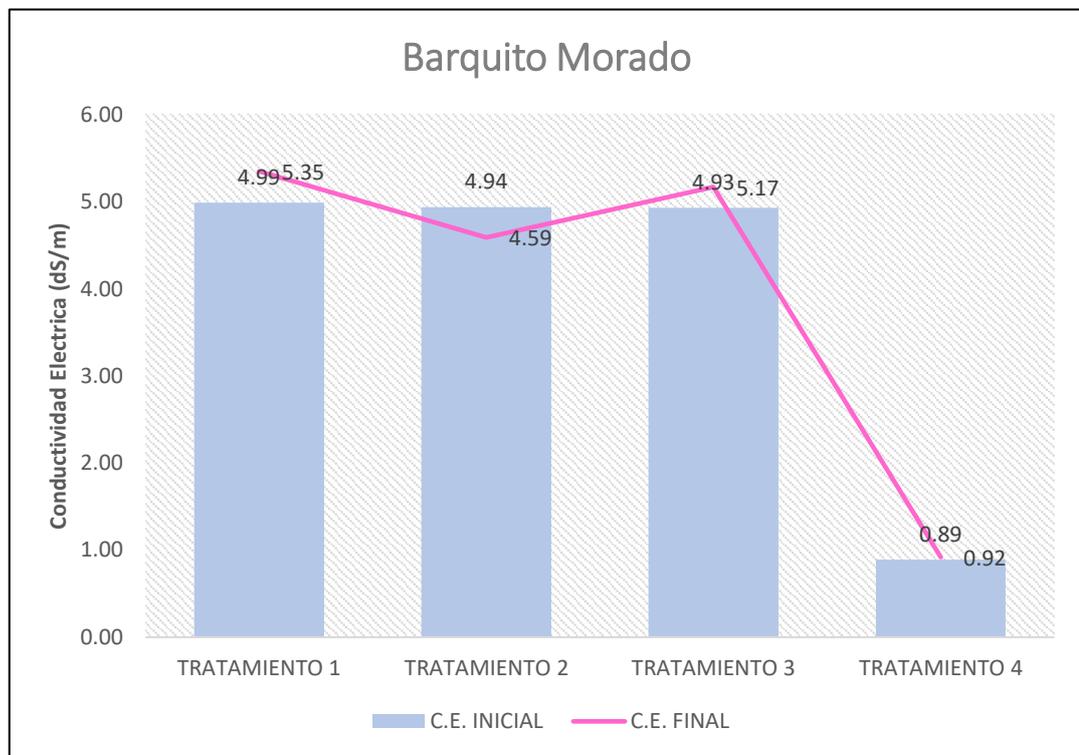


La figura 18 se observa que el T1 tiene 7.80 de pH, el T2 tiene 7.55 de pH y el T3 tiene 7.48 de pH, ligeramente alcalinos al inicio del tratamiento, presentando una disminución al finalizar el tratamiento donde T1 tiene 6.70 de pH, el T2 tiene 6.67 de pH y el T3 tiene 6.64 de pH, esto coincide con el estudio realizado por 7 Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera, en el cual el pH tuvo tendencia a disminuir; a diferencia del Tratamiento 4 el cual tiene 6.25 de pH, ligeramente ácido al

inicio del tratamiento, presentando un aumento al finalizar la fase experimental, esto coincide con el estudio de (Ramírez et al. ,2012) titulada “Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo”, en el cual el pH en suelo se incrementó, dando como conclusión que resultados sugieren un mejoramiento en la calidad del suelo explotado por la minería.

#### 4.2.2.2 Conductividad Eléctrica

Figura 19. Conductividad eléctrica - Barquito morado

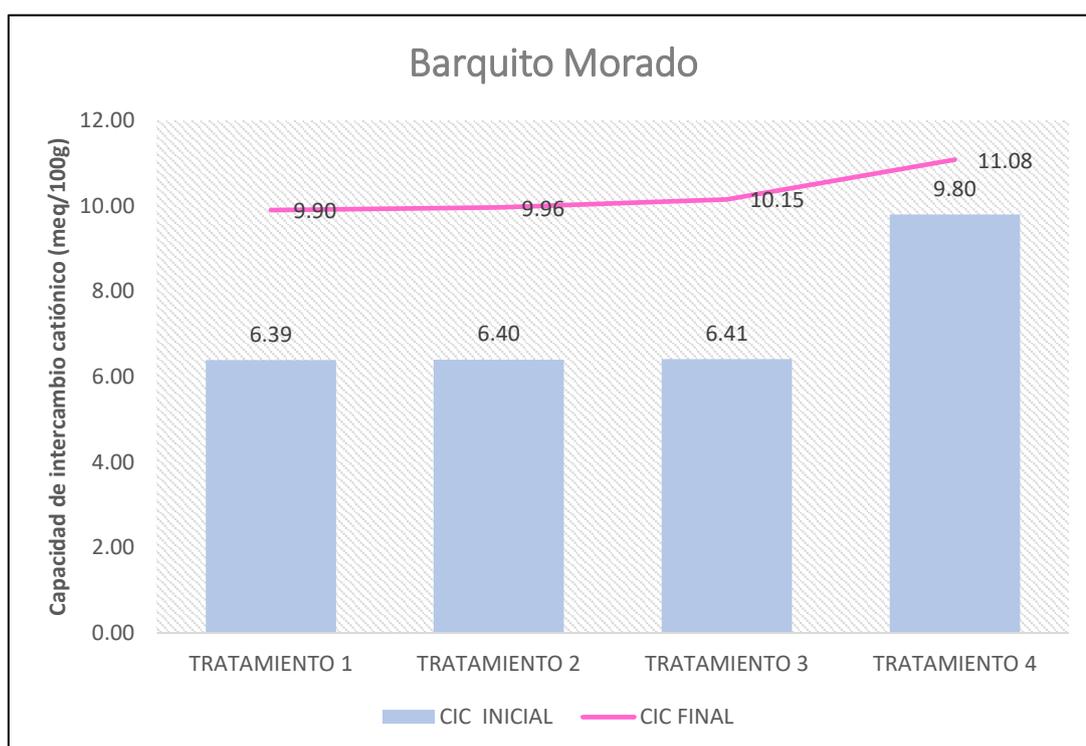


La figura 19 muestra que al inicio de la experimentación el T1 tiene 4.99 dS/m, el T2 tiene 4.94 dS/m, el T3 tiene 4.93 dS/m, conteniendo un nivel de salinidad ligeramente alto, a diferencia del Tratamiento 4 que contenía un nivel de salinidad bajo con 0,89 dS/m. Se observa que al finalizar los tratamientos presentaron un incremento de CE. Según Sarabia Meléndez et al., (2011) los parámetros pH y CE, están relacionados con el vigor de semillas y los porcentajes de germinación de semillas, a mayor CE disminuye el porcentaje de

germinación, lo que indicaría que a mayor C.E podría disminuir el porcentaje de germinación de la planta, en este estudio Barquito Morado.

### 4.2.2.3 Capacidad de intercambio catiónico

Figura 20. Capacidad de intercambio catiónico - Barquito morado



La figura 20 muestra que el T1 tiene 6.39 meq/100g, el T2 tiene 6.40 meq/100g, el T3 tiene 6.41 meq/100g y el T4 o suelo testigo tiene 9.80 meq/100g presentando el C.I.C más alto entre los tratamientos; observándose un aumento de capacidad de intercambio catiónico al finalizar la etapa de experimentación, siendo esto favorable ya que la CIC es la suma total de los cationes intercambiables de un suelo. Cuanto mayor es la CIC mayor es la cantidad de cationes que éste puede retener (Abrego, 2012).

### 4.3 Análisis del Crecimiento de las Plantas

#### 4.3.1 Análisis de las Acciones en la Raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

##### 4.3.1.1 Modelo del Diseño de Experimentos

Se usó el Diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA), para el análisis de resultados, este modelo fue usado en cada uno de los diferentes análisis realizados en este estudio.

Tabla 14. Modelo del diseño de experimento para análisis de las acciones en la raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

Coefficients:			
(Intercept)		Concent	148.35
14.575		-2.8500	
Concent	214.96	Concent	510.28
-9.15		-11.3167	
Bloques2		Bloques3	
-0.2375		-0.2250	

Fuente: Programa estadístico R

$$Y = 14.5750 + 2.8500 C1 + 9.1500 C2 + 11.3167 C3 - 0.2375 Rep2 - 0.2250 Rep3$$

##### 4.3.1.2 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el tamaño de la raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*.

Ha: Los tratamientos afectan el tamaño de la raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*.

Ho: Las repeticiones no afectan el tamaño de la raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*.

Ha: Las repeticiones afectan el tamaño de la raíz de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ho: Las plantas no afectan el tamaño de la raíz de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ha: Las plantas afectan el tamaño de la raíz de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida

Tabla 15. Test ANOVA para análisis de las acciones en la raíz de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	504	671.632	2e-16	***
Bloques	2	0.3	0.571	0.575	
Planta	1	19.6	78.443	8.89e-08	***
Residuals		17	4.3	0.25	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 15 muestra en los tratamientos que el p-valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan tamaño de la raíz, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan el crecimiento de la raíz de las plantas Geranio y Barquito Morado.

En las repeticiones el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan tamaño de la raíz.

En las plantas el p-valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza el Ho y aceptamos la Ha que nos dice, las plantas o especie de plantas afectan al tamaño de la raíz de las plantas Geranio y Barquito Morado.

#### 4.3.1.3 Prueba de Normalidad

Para el análisis respecto al crecimiento de la raíz se aplicó la prueba de Shapiro Wilk con un nivel de confianza del 95%, debido a que el total de las muestras es menor a 50.

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 16. Test Shapiro-Wilk para análisis de las acciones en la raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.94407, p-value = 0.2009

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 16 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.2009 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.3.1.4 Homogeneidad de Varianza

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 17. Test Homogeneidad de varianza para análisis de las acciones en la raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 1.341187, Df = 1, p = 0.24682

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 17 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor  $> 0.05$ , por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.3.1.5 Comparación de Tamaño de Raíz entre Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

Tabla 18. Método LSD de Fisher para análisis de las acciones en la raíz de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida

---

Alpha: 0.05 ; DF Error: 17
Critical Value of t: 2.109816
least Significant Difference: 0.4307698

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 18 muestra que se encontró dos diferentes grupos a y b, presentando una diferencia de al menos 0.4307698 entre grupos, esto indica que sus raíces difieren en tamaño.

Tabla 19. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis de las acciones en la raíz de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida

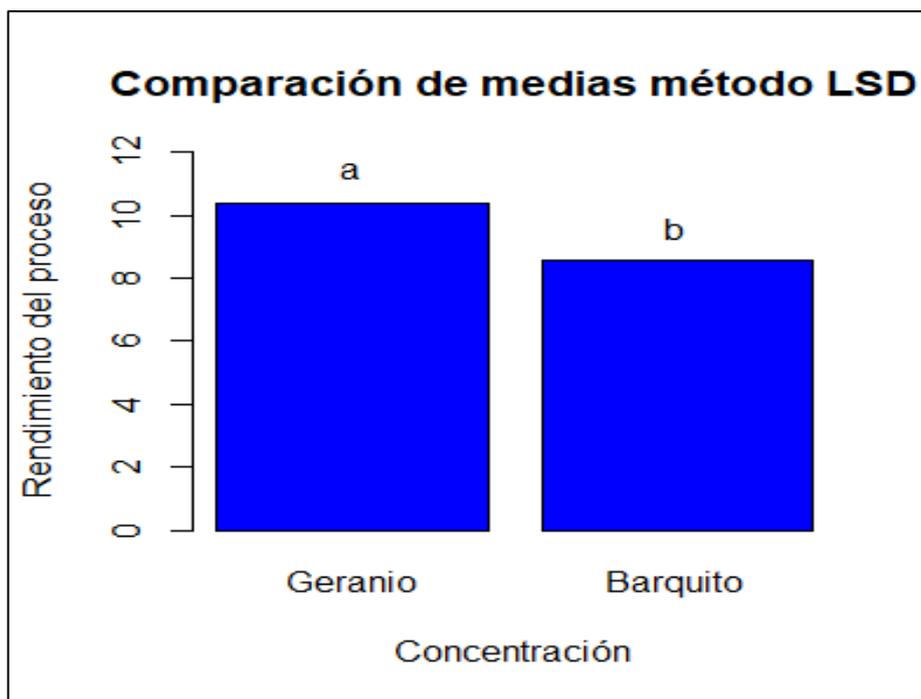
---

	Raíz	Groups
Geranio	10.40000	A
Barquito	8.591667	B

---

Fuente: Programa estadístico

Figura 21. Comparación de medias método LSD para análisis de las acciones en la raíz de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*



La figura 21 muestra existe diferencia significativa en el tamaño de la raíz de las dos plantas, donde *Pelargonium Hortorum* (Geranio) crece 10.40 cm y *Tradescantia Pallida* (Barquito Morado) crece 8.59 cm, se puede observar que el Geranio presenta mayor tamaño de crecimiento en la raíz en comparación con el Barquito morado que presenta menor tamaño de raíz a los 90 días.

#### 4.3.2 *Análisis de las Acciones en el Tallo de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida*

##### 4.3.2.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

H<sub>0</sub>: Los tratamientos no afectan el tamaño del tallo *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*.

H<sub>a</sub>: Los tratamientos afectan el tamaño del tallo *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*.

Ho: Las repeticiones no afectan el tamaño del tallo Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ha: Las repeticiones afectan el tamaño del tallo Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ho: Las plantas no afectan el tamaño del tallo Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ha: Las plantas afectan el tamaño del tallo Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Tabla 20. Test ANOVA para análisis de las acciones en el tallo de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	292.46	21.652	4.84e-06 ***	
Bloques	2	2.58	0.287	0.754	
Planta	1	234.37	52.055	1.45e-06 ***	
Residuals		17	76.54	4.5	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 20 muestra en los tratamientos que el p-valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan tamaño del tallo, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan el crecimiento del tallo en las plantas Geranio y Barquito Morado.

En las repeticiones el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan tamaño del tallo.

En las plantas el p-valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, las plantas si afectan el tamaño del tallo de las plantas Geranio y Barquito Morado.

#### 4.3.2.2 Prueba de Normalidad

Para el análisis de crecimiento del tallo se aplicó la prueba de Shapiro Wilk con un nivel de confianza del 95%, debido a que el total las muestras es menor a 50.

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 21. Test Shapiro-Wilk para análisis de las acciones en el tallo de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.97427, p-value = 0.7717

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 21 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.7717 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.3.2.3 Homogeneidad de Varianza

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 22. Test Homogeneidad de varianza para análisis de las acciones en el tallo de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.897146, Df = 1, p = 0.34355

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 22 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor  $> 0.05$ , por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.3.2.4 Comparación de Tamaño del Tallo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*.

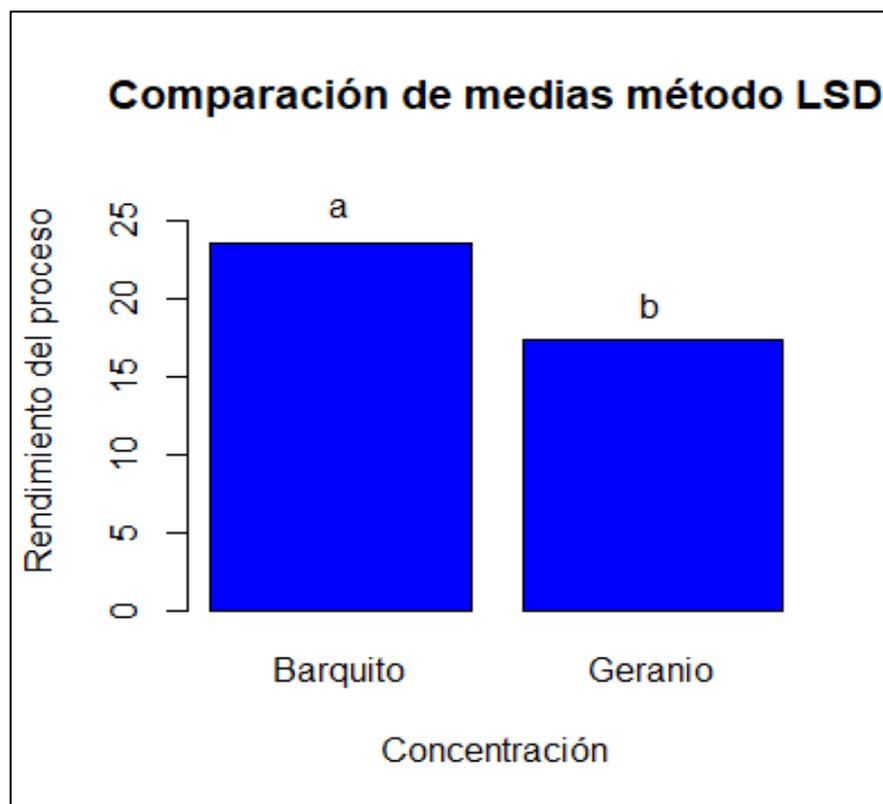
Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

Tabla 23. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis de las acciones en el tallo de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

	Tallo	Groups
Barquito	23.58333	A
Geranio	17.33333	B

Fuente: Programa estadístico R

Figura 22. Comparación de medias método LSD para análisis de las acciones en el tallo de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*



La figura 22 muestra existe diferencia significativa en el tamaño de las dos plantas, donde *Pelargonium Hortorum* (Geranio) crece 17.33 cm y *Tradescantia Pallida* (Barquito

Morado) crece 23.58 cm, se puede observar que el Barquito morado presenta mayor tamaño de crecimiento en el tallo en comparación con el Geranio que presenta menor tamaño en el tallo a los 90 días.

### 4.3.3 *Análisis de las Acciones en las Hojas y Flores de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida*

#### 4.3.3.1 **Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA**

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el tamaño de las hojas y flores Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ha: Los tratamientos afectan el tamaño de las hojas y flores Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ho: Las repeticiones no afectan el tamaño de las hojas y flores Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ha: Las repeticiones afectan el tamaño de las hojas y flores Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ho: Las plantas no afectan el tamaño de las hojas y flores Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Ha: Las plantas afectan el tamaño de las hojas y flores Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida.

Tabla 24. Test ANOVA para análisis de las acciones en las hojas y flores de Pelargonium Hortorum y Tradescantia Pallida

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	190.67	259.31	2.18e-14	***
Bloques	2	0.33	0.68	0.52	
Planta	1	280.17	1143.08	2e-16	***
Residuals		17	4.17	0.25	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 24 muestra en los tratamientos que el  $p$ -valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$  que nos dice, que los tratamientos afectan tamaño de las hojas y flores, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan el crecimiento de las hojas y flores de las plantas Geranio y Barquito Morado.

En las repeticiones el  $p$ -valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la  $H_0$  que nos dice, que las repeticiones no afectan tamaño las hojas y flores.

En las plantas el  $p$ -valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$  que nos dice, las plantas si afectan el tamaño de las hojas y flores de las plantas Geranio y Barquito Morado.

#### 4.3.3.2 Prueba de Normalidad

Para el análisis de la concentración de Pb respecto al rendimiento del proceso se aplicó la prueba de Shapiro Wilk con un nivel de confianza del 95%, debido a que el total las muestras es menor a 50.

Hipótesis:

$H_0$ : Los datos tienen una distribución normal

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 25. Test Shapiro-Wilk para análisis de las acciones en las hojas y flores de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
$W = 0.93316$ , $p$ -value = 0.1147

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 25 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.1147 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.3.3.3 Homogeneidad de Varianza

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 26. Test Homogeneidad de varianza para análisis de las acciones en las hojas y flores de *Pelargonium Hortorum* y

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 1.097558, Df = 1, p = 0.2948

---

*Tradescantia Pallida*

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 26 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor  $> 0.05$ , por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.3.3.4 Comparación de Tamaño de Hojas y Flores entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*.

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

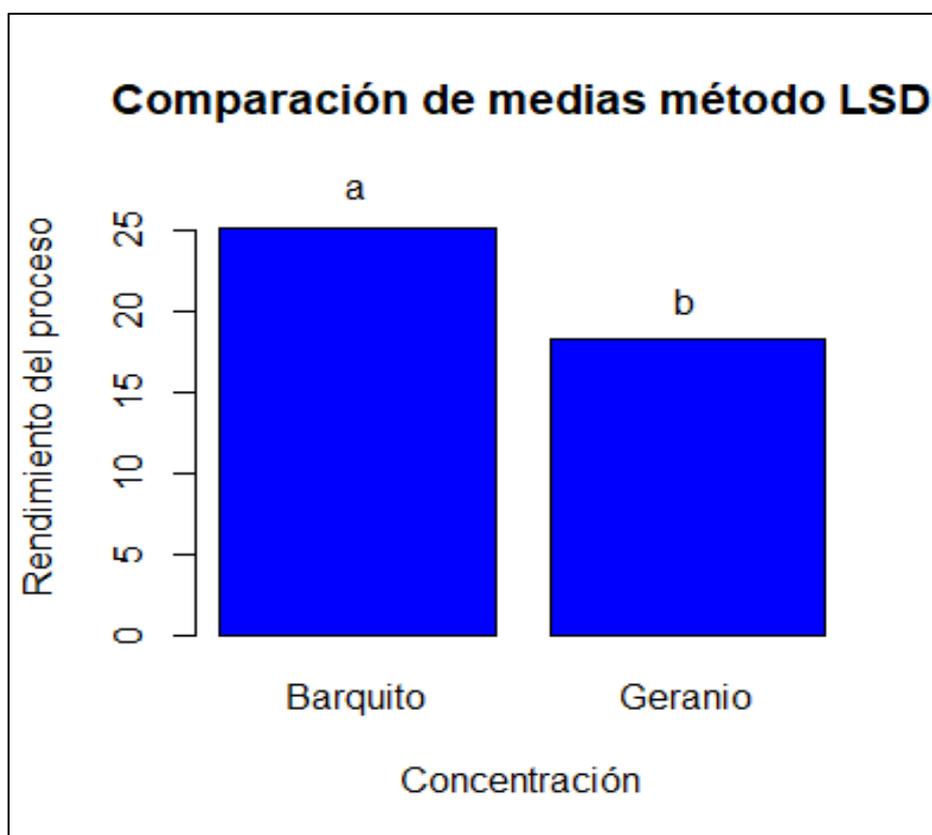
Tabla 27. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis de las acciones las hojas y flores de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

	Hojflor	Groups
Barquito	25.08333	A
Geranio	18.25000	B

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 27 muestra que se encontró dos diferentes grupos, el grupo a y el grupo b.

Figura 23. Comparación de medias método LSD para análisis de las acciones las hojas y flores de *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*



La figura 23 muestra existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el tamaño de hojas y flores de las dos plantas, donde *Pelargonium Hortorum* (Geranio) crece 18.25 cm y *Tradescantia Pallida* (Barquito Morado) crece 25.08 cm, se puede observar que el Barquito

morado presenta mayor tamaño de crecimiento en las hojas y flores en comparación con el Geranio que presenta menor tamaño en las hojas y flores a los 90 días.

#### 4.3.4 Comparación en las Características en las Plantas

##### 4.3.4.1 Características Promedias a los 45 días

Tabla 28. Comparación en las características en las plantas a los 45 días

Planta	T	pb (ppm)	Tallo Cm	Diámetro Cm	Área foliar cm2	Área flores cm2	Nº de hojas	Marchitas	Muertas
<b>Geranio</b>	<b>T1</b>	510.28	7.15	1.91	1.96	3.15	10.00	5.00	3.00
	<b>T2</b>	214.96	8.84	3.95	7.03	4.23	13.00	2.67	2.00
	<b>T3</b>	148.35	9.51	4.92	8.13	5.16	14.00	2.33	1.67
	<b>T4</b>	49.14	13.79	6.94	12.46	6.21	17.00	2.00	1.00
<b>Barquito</b>	<b>T1</b>	510.28	11.71	1.36	3.93	2.15	13.67	6.67	5.00
	<b>T2</b>	214.96	12.93	3.38	7.20	3.17	17.00	5.67	3.33
	<b>T3</b>	148.35	14.40	4.37	8.18	3.21	19.00	4.67	2.67
	<b>T4</b>	49.14	20.60	7.48	13.02	4.21	22.67	3.67	2.33

Fuente: Propio

La tabla 28 muestra las medias del crecimiento de cada indicador de desarrollo de las plantas (ver anexo 13), obtenidos a partir del día 0 al día 45. Los resultados muestran que en el T1 los efectos fueron más severos, siguieron el orden de Tratamiento 4 o control > Tratamiento 3> Tratamiento 2> Tratamiento 1 tanto en área foliar, área de flores, altura y diámetro del tallo. El número de hojas totales mostro el orden de Tratamiento 4 o control > Tratamiento 3> Tratamiento 2> Tratamiento 1, donde el T4 fue el que mayor cantidad de hojas presento; las hojas enfermas y hojas muertas siguieron el orden Tratamiento 1 > Tratamiento 2> Tratamiento 3> Tratamiento 4 o control, donde el T4 fue el que menor cantidad de hojas enfermas y muertas presento a los 45 días de estudio. Se observa que en el T1 tanto en la planta Geranio como la planta Barquito Morado el crecimiento del tallo,

diámetro, área foliar y área de florescencia fue menor en comparación con los otros tratamientos, siendo el T4 o suelo testigo donde hubo un mejor desarrollo de las plantas. Así también el Barquito Morado presento mayor tamaño de tallo y hojas esto se debe a que la estructura de cada planta es diferente.

#### 4.3.4.2 Características promedias a los 90 días

Tabla 29. Comparación en las características en las plantas a los 90 días

Planta	T	pb (ppm)	raíz cm	Tallo Cm	Diámetro Cm	Área foliar cm2	Área flores cm2	N° de hojas	Marchitas	Muertas
<b>Geranio</b>	<b>T1</b>	510.28	4.64	13.03	3.95	4.94	2.75	15.00	7.67	6.33
	<b>T2</b>	214.96	7.43	14.86	4.88	8.10	3.75	17.00	5.00	4.67
	<b>T3</b>	148.35	13.23	16.17	5.96	9.19	4.12	18.00	4.00	4.00
	<b>T4</b>	49.14	16.53	25.74	12.06	10.18	4.52	23.00	3.33	3.00
<b>Barquito</b>	<b>T1</b>	510.28	3.52	21.70	2.36	7.12	1.76	21.67	10.67	8.33
	<b>T2</b>	214.96	4.97	21.85	3.32	8.15	2.74	23.67	7.00	6.67
	<b>T3</b>	148.35	11.97	23.43	4.36	8.23	2.92	26.00	6.33	5.67
	<b>T4</b>	49.14	14.47	27.33	11.48	11.17	3.42	29.00	5.33	3.33

Fuente: Propio

La tabla 29 muestra las medias del crecimiento de cada indicador de desarrollo de las plantas (ver anexo 13), obtenidos a partir del día 0 al día 90, se observa que las plantas de Geranio y Barquito Morado en los tratamientos T1 (510.28 ppm), T2 (214.96) y T3 (148.35) presentaron un menor desarrollo en comparación al tratamiento control de cada planta, siendo el Tratamiento 4 o suelo testigo donde hubo un mejor desarrollo de ambas plantas. Se sabe que un exceso de metales pesados en el medio ambiente puede afectar negativamente el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas (C.-G. Kim et al., 2003). Los resultados obtenidos reafirman esa indicación, en el T1 los efectos sobre estos parámetros fueron más notorios y severos; siguiendo el orden de Tratamiento 4 o control >

Tratamiento 3 > Tratamiento 2 > Tratamiento 1, orden ya visto desde el día 45 de experimentación; haciéndose evidente el efecto inhibitorio de los metales sobre el crecimiento de las plantas, por el decrecimiento del área foliar, área de flores, altura y diámetro del tallo respecto al tratamiento control.

En ambas plantas los metales influenciaron negativamente el crecimiento en altura y diámetro de las plantas. El retraso en el crecimiento es una respuesta comúnmente observada en una amplia gama de plantas que crecen en suelos enriquecidos con metales (Ugarte et al., 2015). Diferentes estudios informan que los metales inhiben la elongación de raíces, parte aérea y tallos, efectos adversos del Pb sobre la altura de planta y crecimiento de la parte aérea (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

El área foliar sugeriría que los metales han alcanzado concentraciones fitotóxicas a nivel de hoja (Camarillo-Ravelo et al., 2015). Dicha reducción del área foliar podría estar asociada con una mayor senescencia foliar en los tratamientos con mayor concentración de metal pesado, dado que las plantas de estos últimos sufrieron una fuerte reducción de la superficie a los 90 días del experimento. Según Beltrán Pineda & Gómez Rodríguez (2015) la reducción de la superficie foliar es considerada un mecanismo de evasión que permite minimizar la pérdida de agua en condiciones de estrés, así también una reducción en el número y tamaño de hojas.

Los resultados muestran que el número de hojas totales siguió el orden Tratamiento 4 o control > Tratamiento 3 > Tratamiento 2 > Tratamiento 1, hojas enfermas y hojas muertas siguieron el orden muertas Tratamiento 1 > Tratamiento 2 > Tratamiento 3 > Tratamiento 4 o control; la mortalidad inicial de las hojas fue mayor en el T1 comparado con los demás niveles. Esto coincide con lo informado por Núñez et al. (2010), estudio donde se expuso

geranios aromáticos a distintas concentraciones de níquel, plomo y cadmio registrándose síntomas de fitotoxicidad principalmente en las hojas maduras, las cuales mostraron clorosis y muerte temprana.

#### 4.4 Análisis de Remoción de Pb

##### 4.4.1 *Pelargonium Hortorum*: Análisis de remoción de Pb a los 45 días

##### 4.4.1.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 30. Test ANOVA para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 45 días

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	583	828.783	3.05e-08	***
Bloques	2	0.1	0.171	0.847	
Residuals		6	0.23		

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 30 muestra en los tratamientos que el p-valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan a la remoción por el Geranio.

En las repeticiones el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.4.1.2 Prueba de Normalidad

Para el análisis de la concentración de Pb respecto al rendimiento del proceso se aplicó la prueba de Shapiro Wilk con un nivel de confianza del 95%, debido a que el total las muestras es menor a 50.

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

*Tabla 31. Test Shapiro-Wilk para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 45 días*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.84543, p-value = 0.1116

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 31 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.1116 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.4.1.3 Homogeneidad de Varianza

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 32. Test Homogeneidad de varianza para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 45 días

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.4249287, Df = 1, p = 0.51449

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 32 muestra que la prueba de homogeneidad de varianza es 0.51449 (p-valor > 0.05), por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.4.1.4 Comparación de Tratamientos con Pelargonium Hortorum a los 45 días

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

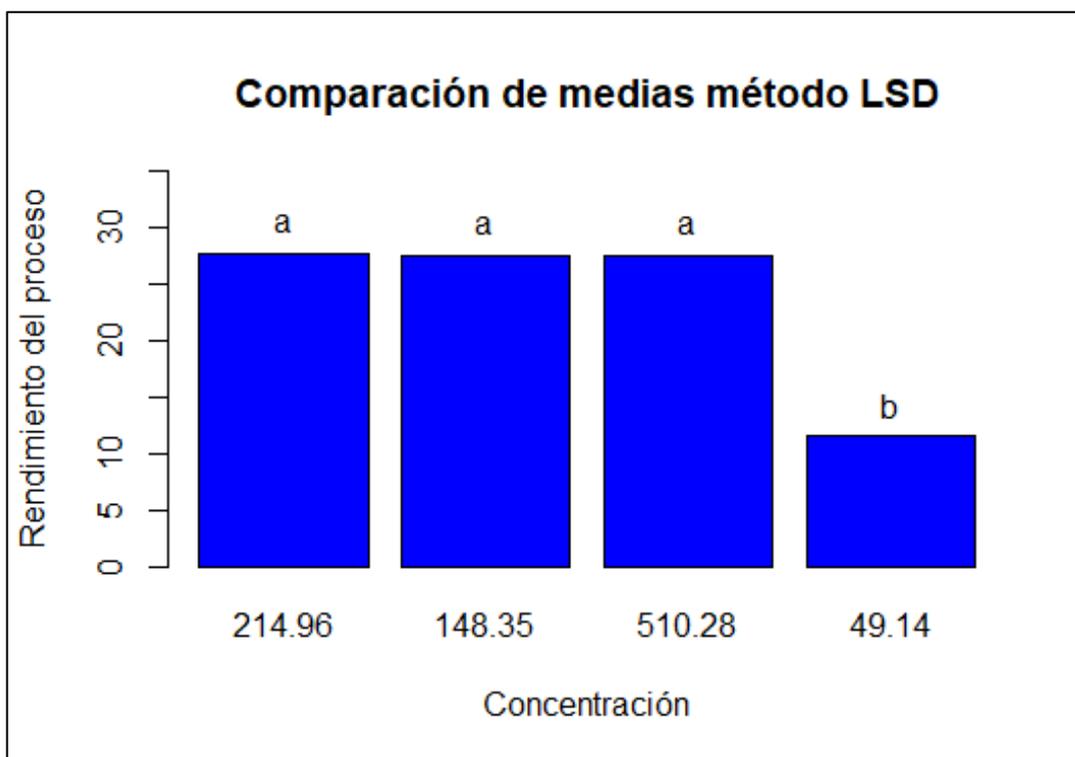
Tabla 33. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 45 días

	Rem 45	Groups
214.96	27.72000	a
148.35	27.57667	a
510.28	27.53000	a
49.14	11.51333	b

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 33 muestra que los tratamientos 1, 2 y 3 son semejantes en sus medias por lo que están descritos con la letra a, mientras que el tratamiento 4 descrito con la letra b difiere de a entre grupos.

Figura 24 Comparación de medias método LSD para para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 45 días



La figura 24 muestra que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos 1, 2 y 3, pero estos si presentan una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con el tratamiento 4, donde el Tratamiento 2 (214.96 mg/kg de plomo) con un 27.72% fue el que mayor porcentaje de remoción presento, seguido del Tratamiento 3 (148.35mg/kg de plomo) con un 27.58 %, al que le sigue el Tratamiento 1 (510.28 mg/kg de plomo) con un 27.53% de remoción, siendo el Tratamiento 4 o suelo testigo, con un 11.51% el que menor porcentaje de remoción presento entre todos los tratamientos con Geranio a los 45 días.

#### 4.4.2 *Tradescantia Pallida*: Análisis de Remoción de Pb a los 45 días

##### 4.4.2.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

H<sub>0</sub>: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

H<sub>a</sub>: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 34. Test ANOVA para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 45 días

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	254.4	59.688	7.36e-05 ***	
Bloques	2	3.23	1.138	0.381	
Residuals		6	8.52	1.42	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 34 muestra en los tratamientos que el p-valor es  $7.36e-05$  ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan a la remoción por el Barquito Morado.

En las repeticiones el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.4.2.2 Prueba de Normalidad

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 35. Test Shapiro-Wilk para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 45 días

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.92385, p-value = 0.3194

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 35 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.3194 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.4.2.3 Homogeneidad de Varianza

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 36. Test Homogeneidad de varianza para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 45 días

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.01562299, Df = 1, p = 0.90053

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 36 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor  $> 0.05$ , por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.4.2.4 Comparación de Tratamientos con Tradescantia Pallida a los 45 días

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

Tabla 37. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 45 días

Medias tratamientos	Groups
510.28	A
148.35	B
214.96	B
49.14	C

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 37 muestra que los tratamientos 2 y 3 son semejantes en sus medias por lo que están descritos con la letra b, mientras que el tratamiento 1 y 4 descrito con la letra a difiere de c respectivamente. Se observa que existe una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre el Tratamiento 1 (510.28 mg/kg de plomo) y los Tratamientos 2 (148.35 mg/kg de plomo) y 3 (214.96 mg/kg de plomo), donde el Tratamiento 1 con 20.76 % fue el que removió mayor porcentaje de plomo a diferencia del Tratamiento 2 y Tratamiento 3 que removieron un 14.47% y 14.42% de plomo respectivamente, así también se observa que el Tratamiento 4 o suelo testigo, tuvo menor porcentaje de remoción entre todos los tratamientos, mostrando un 7.74 % de remoción de plomo por Barquito morado en un periodo de 45 días.

#### 4.4.3 *Pelargonium Hortorum*: Análisis de Remoción de Pb a los 90 días

##### 4.4.3.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 38. Test ANOVA para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 90 días

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	1710.2	570.1	1152.111	1.14e-08 ***
Bloques	2	1.3	0.7	1.319	0.335
Residuals		6	3.0	0.5	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 38 muestra en los tratamientos que el p-valor es  $1.14e-08$  ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$  que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan a la remoción por el Geranio a los 90 días del estudio.

En las repeticiones el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la  $H_0$  que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.4.3.2 Prueba de Normalidad

Hipótesis:

$H_0$ : Los datos tienen una distribución normal

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal.

*Tabla 39. Test Shapiro-Wilk para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 90 días*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.92216, p-value = 0.3043

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 39 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.3043 ( $p > 0.05$ ) es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.4.3.3 Homogeneidad de Varianza

Hipótesis:

$H_0$ : Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 40. Test Homogeneidad de varianza para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 90 días

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.7015446, Df = 1, p = 0.40227

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 40 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor es 0.40227 mayor a 0.05, por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.4.3.4 Comparación de Tratamientos con Pelargonium Hortorum los 90 días

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos.

Tabla 41. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis de remoción de Pb por Geranio a los 90 días

	Rem 90 días	Groups
510.28	52.61000	a
214.96	44.40333	b
148.35	41.64000	c
49.14	20.27000	d

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 41 muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, el Tratamiento 1 (510.28 mg/kg de plomo) con un 52.61 % fue el que mayor porcentaje de remoción presento, seguido del Tratamiento 2 (214.96 mg/kg de plomo) con un 44.40% al que le sigue el Tratamiento 3 (148.35mg/kg de plomo) con un 41.64% de remoción, siendo el Tratamiento 4 o suelo testigo, con un 20.27% el que menor porcentaje de remoción

presento entre todos a los 90 días. Se puede observar que la especie *Pelargonium Hortorum* a mayor concentración de plomo presenta mayor remoción.

#### 4.4.4 *Tradescantia Pallida*: Análisis de Remoción de Pb a los 90 días.

##### 4.4.4.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 42. Test ANOVA para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 90 días

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	1558.2	18552.178	2.74e-12	***
Bloques	2	0.0	0.336	0.727	
Residuals		6	0.2	0.0	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 42 muestra en los tratamientos que el p-valor es 2.74e-12 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan a la remoción por el Barquito Morado.

En las repeticiones el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la  $H_0$  que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso en la remoción de Pb por Barquito Morado a los 90 días.

#### 4.4.4.2 Prueba de Normalidad

Hipótesis:

$H_0$ : Los datos tienen una distribución normal

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 43. Test Shapiro-Wilk para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 90 días

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.93916, p-value = 0.4873

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 43 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.4873 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.4.4.3 Homogeneidad de Varianza

Hipótesis: $H_0$ : Las varianzas es igual entre los tratamientos

$H_a$ : Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 44. Test Homogeneidad de varianza para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 90 días

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.3041555, Df = 1, p = 0.58129

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 44 muestra la prueba de homogeneidad de varianzas donde el p-valor > 0.05, por lo cual aceptamos la  $H_0$ , con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.4.4.4 Comparación de Tratamientos con *Tradescantia Pallida* a los 90 días

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

Tabla 45. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis de remoción de Pb por Barquito a los 90 días

	Rem 90 días	Groups
510.28	46.07667	A
214.96	38.66333	B
148.35	35.80333	C
49.14	15.33000	D

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 45 muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ), el Tratamiento 1 (510.28 mg/kg de plomo) con un 46.08 % fue el que mayor porcentaje de remoción presentó, seguido del Tratamiento 2 (214.96 mg/kg de plomo) con un 38.66% al que le sigue el Tratamiento 3 (148.35mg/kg de plomo) con un 35.80% de remoción, siendo el Tratamiento 4 o suelo testigo, con un 15.33% el que menor porcentaje de remoción presentó entre todos a los 90 días. Se puede observar que la especie *Tradescantia Pallida* (Barquito Morado) a mayor concentración de plomo presenta mayor remoción.

#### 4.4.5 Comparación entre “*Pelargonium Hortorum*” y “*Tradescantia Pallida*” a los 45 días

##### 4.4.5.1 Análisis de Varianza - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso a los 45 días.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso a los 45 días.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso a los 45 días.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso a los 45 días.

Ho: Las plantas no afectan el rendimiento del proceso a los 45 días.

Ha: Las plantas afectan el rendimiento del proceso a los 45 días.

Tabla 46. Test ANOVA para análisis de la comparación entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 45 días

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	736.2	37.108	1.11e-07	***
Bloques	2	1.9	0.147	0.864	
Planta	1	512.0	77.416	9.76e-08	**
Residuals		17	112.4	6.6	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 46 muestra en los tratamientos que el p-valor es 1.11e-07 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan a la remoción por el Geranio y Barquito Morado.

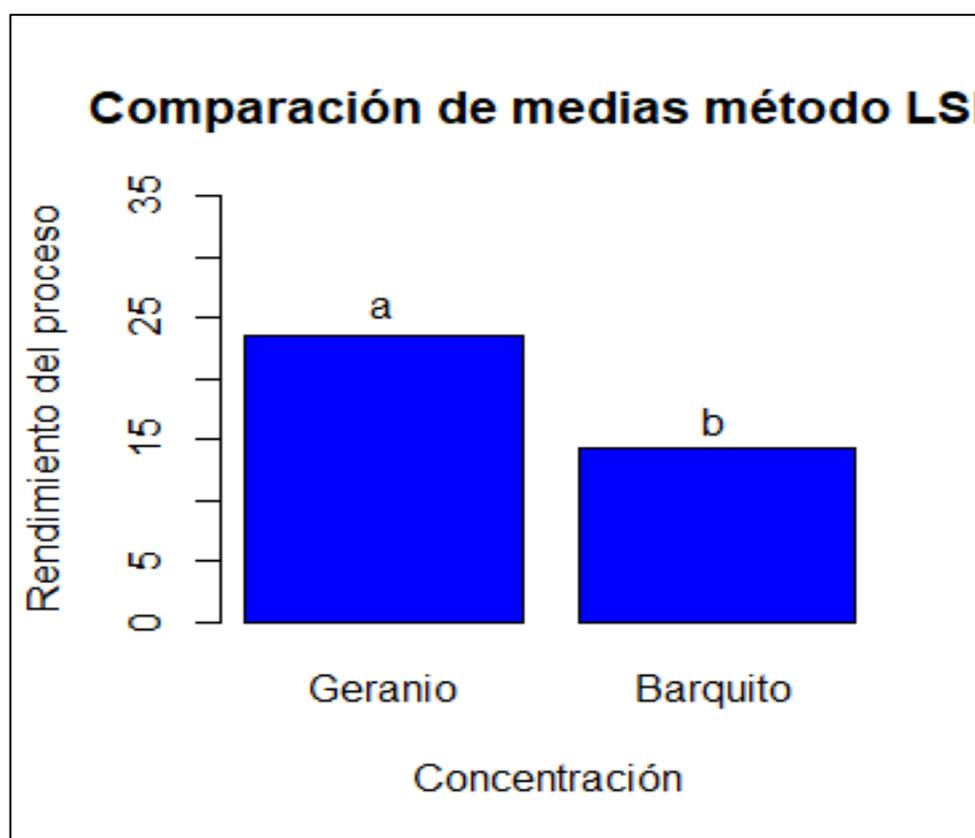
En las repeticiones o bloques, el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

En las plantas el p-valor es  $9.76e-08$  ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$  que nos dice, las plantas afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las plantas afectan a la remoción por el Geranio y Barquito Morado.

#### 4.4.5.2 Remoción entre “*Pelargonium Hortorum*” y “*Tradescantia Pallida*” a los 45 días

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

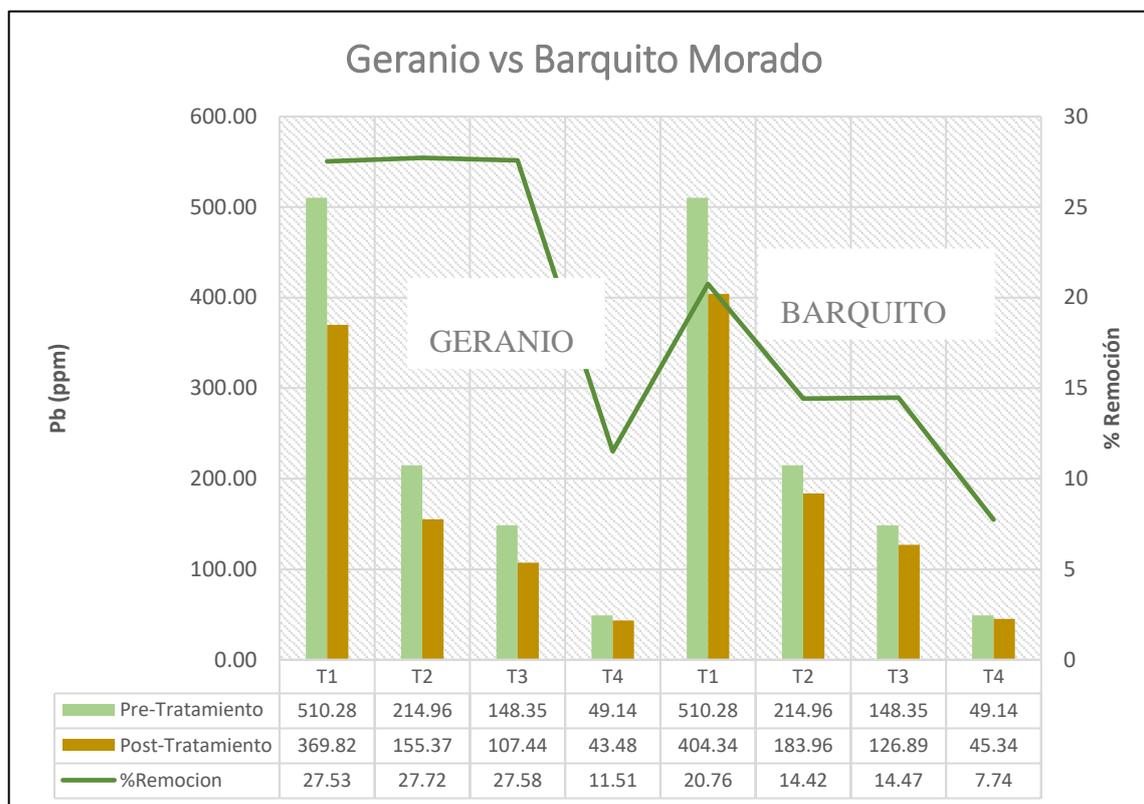
Figura 25. Comparación de medias LSD de Fisher entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 45 días



La figura 25 muestra existe diferencia significativa entre las plantas, donde *Pelargonium Hortorum* tiene 23.78% y *Tradescantia Pallida* tiene 14.56%, se puede observar que el Geranio presenta mayor porcentaje de remoción en comparación con el Barquito morado que presenta menor porcentaje de remoción a los 45 días.

### 4.4.5.3 Comparación de Porcentaje de Remoción de Plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 45 días

Figura 26. Comparación de porcentaje de remoción de plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 45 días



La figura 26 muestra las medias de los tratamientos con la especie *Pelargonium Hortorum*, donde el Tratamiento 1 presenta inicialmente 510.28 mg/kg y disminuye a 369.81 mg/kg con un porcentaje de remoción de 27.53%, el Tratamiento 2 presenta inicialmente 214.96 mg/kg y disminuye a 155.37 mg/kg con un porcentaje de remoción de 27.72 %, Tratamiento 3 presenta inicialmente 148.35 mg/kg y disminuye a 107.44 mg/kg con un porcentaje de remoción 27.58 %, el Tratamiento 4 o suelo testigo presenta inicialmente 49.14 mg/kg y disminuye a 43.48 mg/kg con un porcentaje de remoción 11.51%; presentando el menor porcentaje el Suelo Testigo con 11.51% de remoción a los 45 días de estudio; mientras que la especie *Tradescantia Pallida* en el Tratamiento 1 disminuye a 404.34 mg/kg con un porcentaje de remoción 20.76 %, el Tratamiento 2 disminuye a 183.96 mg/kg con un

porcentaje de remoción 14.42 %, Tratamiento 3 disminuye a 126.89 mg/kg con un porcentaje de remoción 14.47 %, y el Tratamiento 4 disminuye a 45.34 mg/kg con un porcentaje de remoción 7.74 % de remoción a los 45 días de estudio.

Se observa que la especie *Pelargonium Hortorum* tiene un mayor porcentaje de remoción, este resultado coincide con lo reportado por esto coincide con (Obeso et al., 2016) Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio (*Pelargonium zonale*) donde el geranio presento una remoción de hasta el 55%.

#### 4.4.6 Comparación entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 90 días

##### 4.4.6.1 Análisis de Varianza - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso a los 90 días.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso a los 90 días.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso a los 90 días.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso a los 90 días.

Ho: Las plantas no afectan el rendimiento del proceso a los 90 días.

Ha: Las plantas afectan el rendimiento del proceso a los 90 días.

Tabla 47. Test ANOVA para análisis de la comparación entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 90 días

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	3267	1088.8	3330.28	2e-16 ***
Bloques	2	1	0.4	1.25	0.312
Planta	1	199	199.2	609.38	9.36e-15 ***
Residuals		17	6	0.3	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 47 muestra en los tratamientos que el  $p$ -valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$  que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan a la remoción por el Geranio y Barquito Morado a los 90 días.

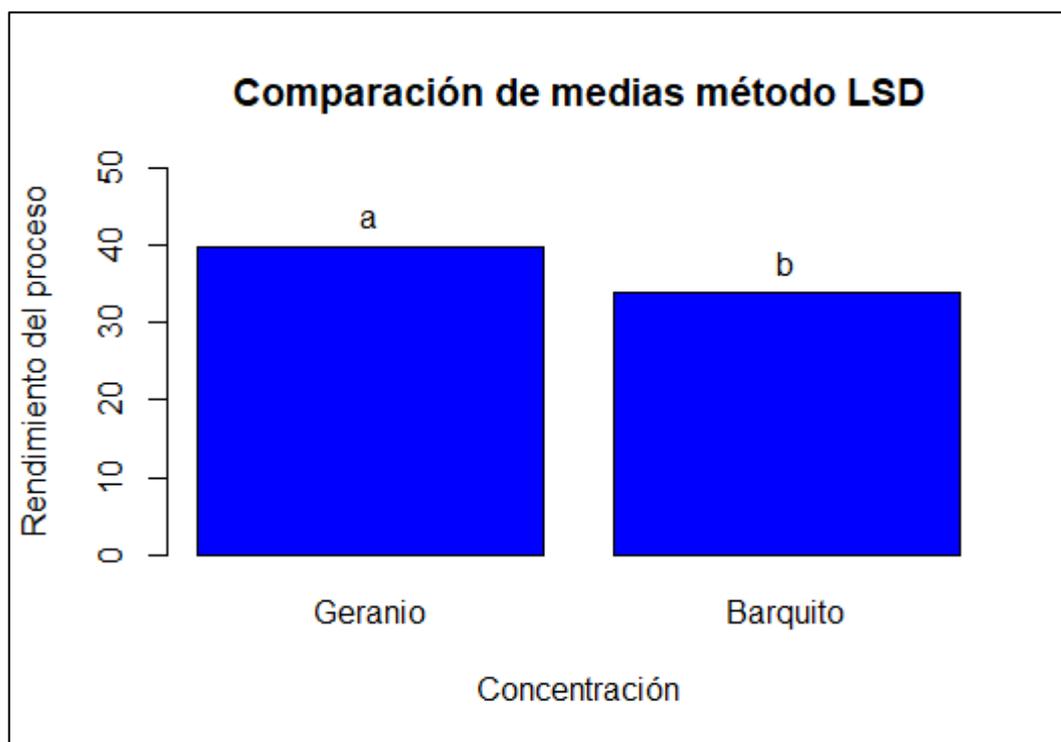
En las repeticiones el  $p$ -valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la  $H_0$  que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

En las plantas el  $p$ -valor  $< 0.05$  por lo que se rechaza la  $H_0$  y aceptamos la  $H_a$  que nos dice, las plantas afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las plantas afectan a la remoción por el Geranio y Barquito Morado.

#### **4.4.6.2 Remoción entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 90 días**

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

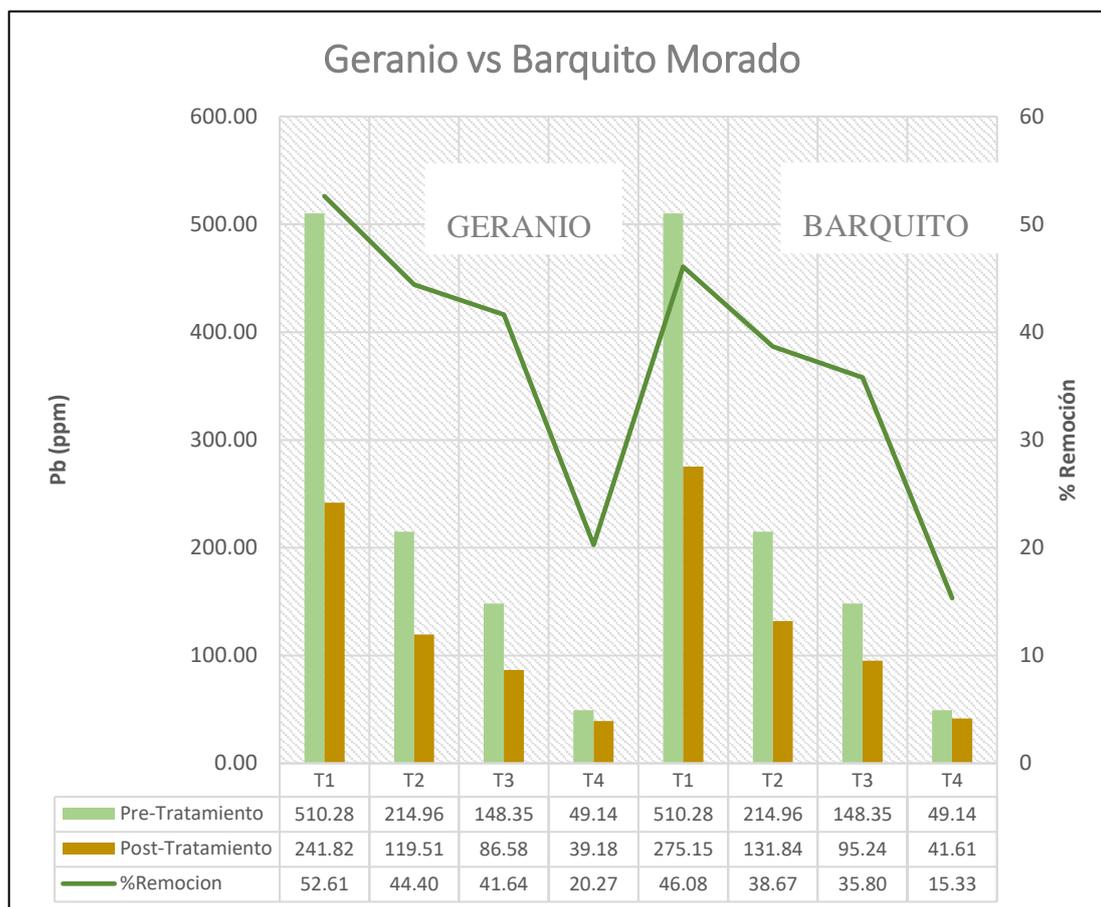
Figura 27. Comparación de medias LSD de Fisher entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 90 días



La figura 27 muestra existe diferencia significativa entre las plantas, donde *Pelargonium Hortorum* (Geranio) tiene 39.73% y *Tradescantia Pallida* (Barquito Morado) tiene 33.96%, se puede observar que el Geranio presenta mayor porcentaje de remoción en comparación con el Barquito morado que presenta menor porcentaje de remoción a los 90 días.

### 4.4.6.3 Comparación de Porcentaje de Remoción de Plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 90 días

Figura 28. Comparación de porcentaje de remoción de plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* a los 90 días



La figura 28 muestra las medias de los tratamientos con la especie *Pelargonium Hortorum*, donde el Tratamiento 1 presenta inicialmente 510.28 mg/kg y disminuye a 241.82 mg/kg con un porcentaje de remoción de 52.61 %, el Tratamiento 2 presenta inicialmente 214.96 mg/kg y disminuye a 119.51 mg/kg con un porcentaje de remoción de 44.40 %, Tratamiento 3 presenta inicialmente 148.35 mg/kg y disminuye a 86.58 mg/kg con un porcentaje de remoción 41.64 %, el Tratamiento 4 o suelo testigo presenta inicialmente 49.14 mg/kg y disminuye a 39.18 mg/kg con un porcentaje de remoción 20.27% a los 90 días de

estudio; esto coincide con lo reportado por Ríos Rodríguez (2017) Eficiencias fitorremediadoras de las especies Rye Grass (*Lolium perenne*), Geranio (*Pelargonium hortorum*) y Malva (*Fuertesimalva echinata*) en la reducción de la concentración de plomo del suelo del distrito de Huamantanga, donde el Geranio 69% terminado el estudio, mientras que la especie *Tradescantia Pallida* en el Tratamiento 1 disminuye a 275.15mg/kg con un porcentaje de remoción 46.08 %, el Tratamiento 2 disminuye a 131.84 mg/kg con un porcentaje de remoción 38.67 %, Tratamiento 3 disminuye a 95.24 mg/kg con un porcentaje de remoción 35.80 %, y el Tratamiento 4 disminuye a 41.61 mg/kg con un porcentaje de remoción 15.33 % de remoción a los 90 días de estudio. Al igual que el estudio de Pajoy Muñoz (2017) Potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como alternativa de Tratamiento de suelos contaminados con Metales pesados, donde el Barquito Morado tubo un 59% de remoción terminado el estudio.

Así también se observa que tiene mayor porcentaje de remoción en los tratamientos con mayor concentración de plomo, esto se dio tanto en el Geranio como en el Barquito Morado.

#### **4.5 Análisis de Absorción de Pb**

##### **4.5.1 Análisis en *Pelargonium Hortorum***

###### **4.5.1.1 Análisis en Parte Radicular de *Pelargonium Hortorum***

###### **4.5.1.1.1 Análisis de Varianza del Modelo – ANOVA**

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 48. Test ANOVA para análisis en parte radicular de *Pelargonium Hortorum*

Coefficients:						
Df	Sum	Sq	Mean	Sq	F value	Pr(>F)
Concent		3	7297	2432.2	1857.725	2.72e-09 ***
Bloques		2	2	0.9	0.691	0.537
Residuals			6	8	1.3	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 48 muestra en los tratamientos que el p-valor es 2.72e-09 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan la absorción en la parte radicular del Geranio.

En las repeticiones el p-valor  $> 0.05$  por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.5.1.1.2 Prueba de Normalidad

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 49. Test Shapiro-Wilk para análisis en parte radicular de *Pelargonium Hortorum*

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.96828, p-value = 0.892

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 49 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.892 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### **4.5.1.1.3 Homogeneidad de Varianza**

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 50. Test Homogeneidad de varianza para análisis en parte radicular de *Pelargonium Hortorum*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 0.0004221203, Df = 1, p = 0.98361

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 50 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor es 0.98361 ( $p > 0.05$ ), por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### **4.5.1.1.4 Comparación de Tratamientos Parte Radicular de *Pelargonium Hortorum***

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

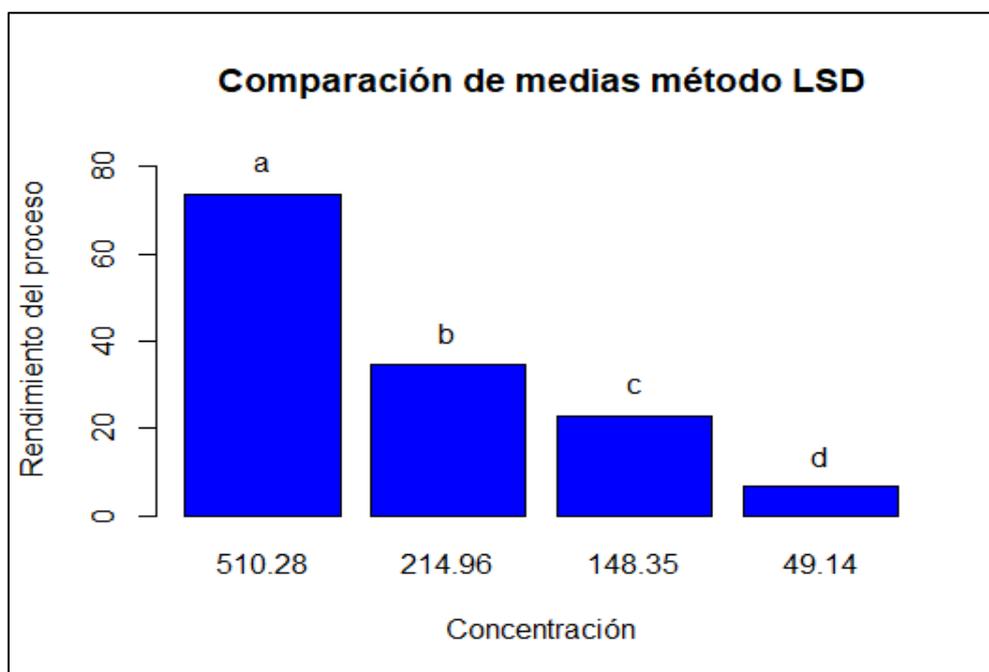
Tabla 51. Comparación de medias LSD de Fisher análisis en parte radicular de *Pelargonium Hortorum*

	AbRaiz	Groups
510.28	73.426667	A
214.96	34.550000	B
148.35	22.836667	C
49.14	6.553333	D

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 51 muestra que se encontró cuatro diferentes grupos a, b, c y d, los tratamientos presentan significancia.

Figura 29. Comparación de medias método LSD para análisis en parte radicular de *Pelargonium Hortorum*



La figura 29 muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, el Tratamiento 1 (510.28 ppm de plomo) acumulo 73.43 ppm, fue el que mayor absorción presento, seguido del Tratamiento 2 (214.96 ppm de plomo) con 34.55 ppm al que le sigue el Tratamiento 3 (148.35 ppm de plomo) con un 22.84 ppm de absorción, siendo el

Tratamiento 4 o suelo testigo, con un 6.55 ppm el que menor absorción presento entre todos, a nivel radicular del Geranio a los 90 días.

#### 4.5.1.2 Análisis en Parte Aérea de *Pelargonium Hortorum*

##### 4.5.1.2.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 52. Test ANOVA para análisis en parte aérea de *Pelargonium Hortorum*

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	945.3	446.448	1.94e-07	***
Bloques	2	1.60	2.273	0.184	
Residuals		4.2	0.71		

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 52 muestra en los tratamientos que el p-valor es 1.94e-07 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan la absorción en la parte aérea del Geranio a los 90 días del estudio.

En las repeticiones el p-valor es 0.184 ( $p > 0.05$ ) por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.5.1.2.2 *Prueba de Normalidad*

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 53. Test Shapiro-Wilk para análisis en parte aérea de *Pelargonium Hortorum*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.95376, p-value = 0.6924

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 53 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.6924 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.5.1.2.3 *Homogeneidad de Varianza*

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 54. Test Homogeneidad de varianza para análisis en parte aérea de *Pelargonium Hortorum*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Bartlett's K-squared = 2.2745, df = 3, p-value = 0.5174

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 54 muestra la prueba de homogeneidad de varianzas donde el p-valor es 0.5174 mayor a 0.05, por lo cual aceptamos la  $H_0$ , con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### **4.5.1.2.4 Comparación de Tratamientos Parte Aérea de *Pelargonium Hortorum***

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

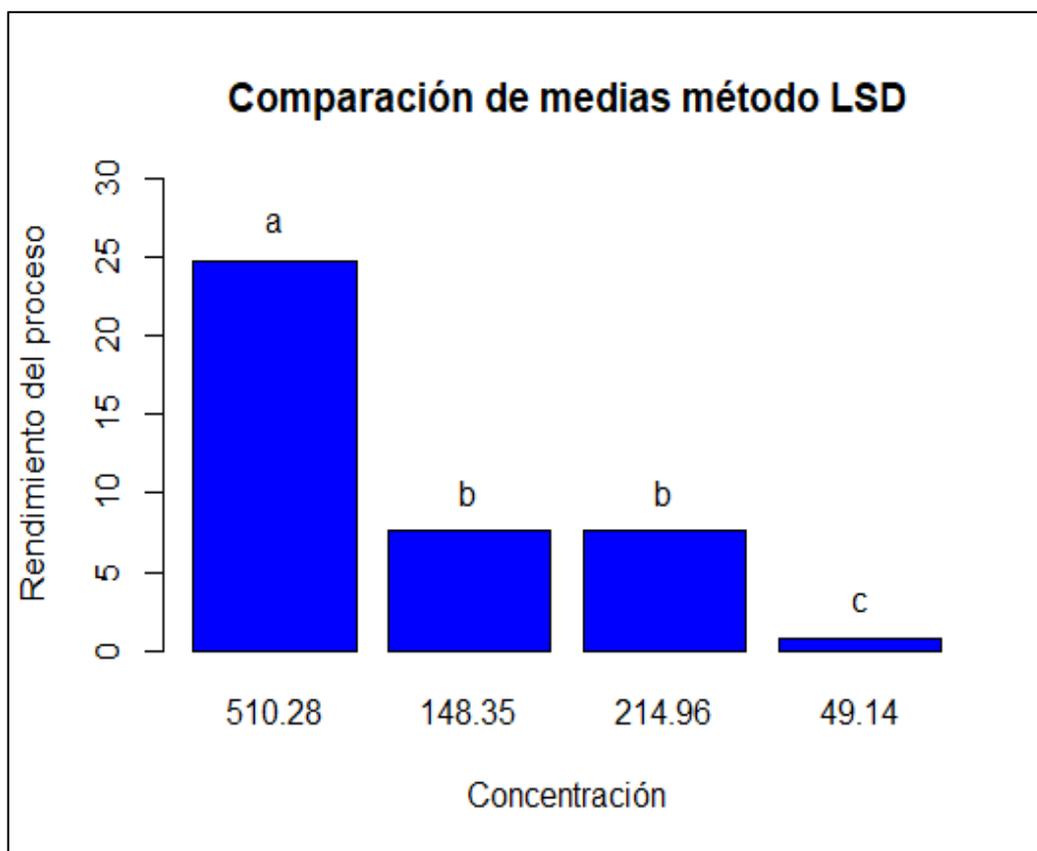
*Tabla 55. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis en parte aérea de *Pelargonium Hortorum**

	THfl	Groups
510.28	24.8066667	a
148.35	7.6766667	b
214.96	7.6700000	b
49.14	0.7666667	c

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 55 muestra que los tratamientos 2 y 3 son semejantes en sus medias por lo que están descritos con la letra b, mientras que el tratamiento 1 y 4 descrito con la letra a y c respectivamente difieren.

Figura 30. Comparación de medias método LSD para análisis en parte aérea de *Pelargonium Hortorum*



La figura 30 muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, el Tratamiento 1 tuvo absorción de 24.80 ppm, siendo el que mayor porcentaje de absorción en la parte aérea presento, seguido del Tratamiento 2 tuvo absorción de 7.67 ppm, que presenta semejanza con el Tratamiento 3 que tuvo absorción de 7.67 % ppm, siendo el Tratamiento 4 o suelo testigo, con un 0.77 ppm el que menor porcentaje de absorción presento entre todos los tratamientos en tallo, hoja y flores del Geranio entre todos a los 90 días. Todos los tratamientos presentaron el siguiente orden de absorción Tallo > hoja > flores; mostrando así que las flores mostraron la menor concentración de metales comparado con los otros órganos, lo cual coincide con lo encontrado por Gallardo Quinteros (2019) donde la especie presento mayor acumulación en el tallo.

### 4.5.1.3 Análisis en el Total de la Planta *Pelargonium Hortorum*

#### 4.5.1.3.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 56. Test ANOVA para análisis en el total de la planta *Pelargonium Hortorum*

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	13411	1710.643	3.48e-09 ***	
Bloques	2	3	0.625	0.567	
Residuals		6	16	3	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 56 muestra en los tratamientos que el p-valor es 3.48e-09 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan a la absorción del total de la planta Geranio a los 90 días del estudio.

En las repeticiones el p-valor es 0.567 ( $p > 0.05$ ) por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.5.1.3.2 *Prueba de Normalidad*

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 57. Test Shapiro-Wilk para análisis en el total de la planta *Pelargonium Hortorum*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.95945, p-value = 0.776

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 57 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.776 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.5.1.3.3 *Homogeneidad de Varianza*

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 58. Test Homogeneidad de varianza para análisis en el total de la planta *Pelargonium Hortorum*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 1.551721, Df = 1, p = 0.21288

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 58 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor es 0.21288 mayor a 0.05, por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.5.1.3.4 Comparación de Tratamientos en el Total de la Planta *Pelargonium Hortorum*

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

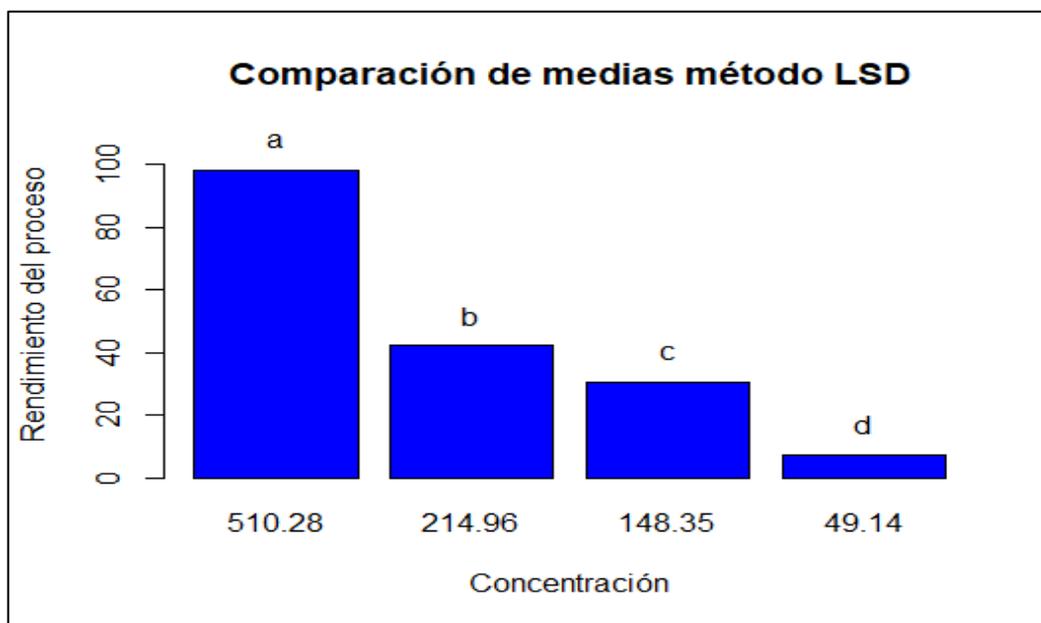
Tabla 59. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis en el total de la planta *Pelargonium Hortorum*

	PbTot	Groups
510.28	98.23333	A
214.96	42.22000	B
148.35	30.51333	C
49.14	7.32000	D

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 59 muestra que los tratamientos presentan significancia.

Figura 31. Comparación de medias método LSD para análisis en el total de la planta *Pelargonium Hortorum*

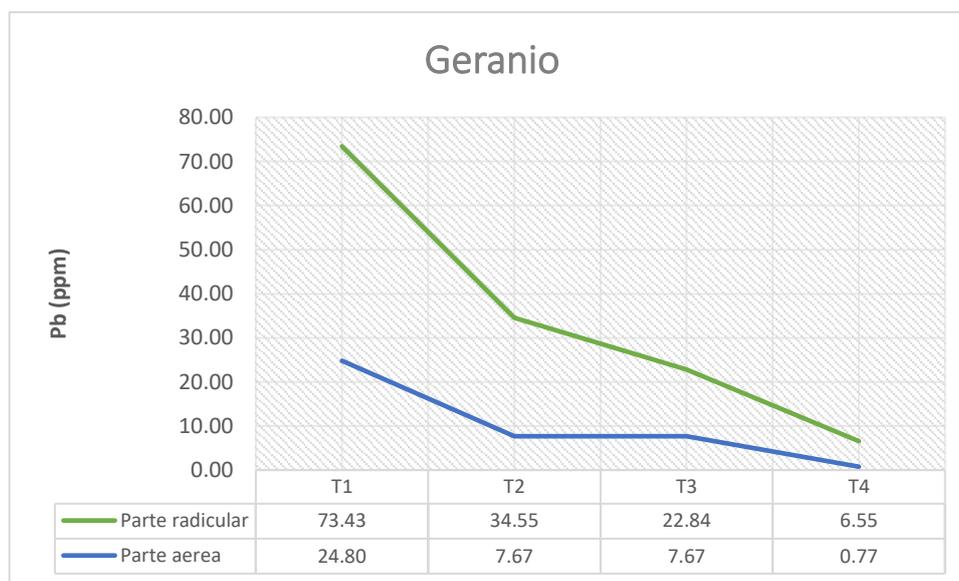


La figura 31 muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ), el T1 acumulo 98.23ppm, seguido del T2 con 42.22 ppm, seguido el T3 presento

30.51ppm, seguido el T4 o suelo testigo presento 7.32 ppm; donde el T1 fue el presente mayor absorción del conjunto aéreo radicular, siendo el T4 el que presento menor absorción del conjunto aéreo radicular en la planta Geranio, se puede ver que en los tratamientos que contenían plomo en cantidades más altas fueron los que presentaron mayor absorción del metal, este resultado contrasta con (Mahdieh & Yazdani, 2013) quienes observaron una acumulación de Pb en raíz sólo a bajas concentraciones; sin embargo el resultado sugiere que en altas concentraciones de Pb en el suelo, el transporte hacia la parte radicular - aérea es elevado.

#### 4.5.1.3.5 Comparación de Tratamientos Parte Aérea – Radicular del *Pelargonium Hortorum*

Figura 32. Comparación de la parte aérea y radicular del *Pelargonium Hortorum*



La figura 32 muestra cuanto absorbió tanto en la parte aérea y radicular el *Pelargonium Hortorum*, observándose T1 con 73.43 ppm de plomo en la parte radicular y 24.80ppm en la parte aérea, el T2 con 34.55 ppm de plomo en la parte radicular y 7.67 ppm en la parte aérea, el T3 con 22.84 ppm de plomo en la parte radicular y 7.67 ppm en la parte aérea, el T4 con 6.55 ppm de plomo en la parte radicular y 0.77 ppm en la parte aérea. Esto

muestra de manera muy notoria que la parte radicular tuvo mayor absorción de contenido de plomo en comparación con la parte aérea de la planta en el periodo de 90 días, , y que esta acumulación de plomo se dio en mayor cantidad en los tratamientos que contenían mayor concentración de Pb, así también la concentración en las tallos, hojas y flores indican una importante restricción del transporte interno de los metales de las raíces hacia los tallos y hojas verdes, indicando que el proceso de acumulación fue metabólicamente controlado (Rodríguez Romero et al., 2014). Dicha inmovilización de metales en las células de la raíz se relaciona con una estrategia de exclusión indicando que esta especie se comporta como exclusora de esos elementos. Según Sánchez Duarte & Enrique Jara Marini (2017) muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas. Esto les permite mantener concentraciones constantes y relativamente bajas en la biomasa aérea independientemente de la concentración metálica del suelo en un intervalo amplio. Este resultado se asemeja a la investigación realizada por Mahdih & Yazdani (2013) cuyo objetivo principal fue evaluar el potencial de los geranios, para absorción y acumulación de metales pesados níquel (Ni), cadmio (Cd) o plomo (Pb), señalando que los resultados mostraron que las plantas de Geranio acumularon por encima de 86.566 mg/kg de Pb para raíces y 4.416 mg/ kg de Pb para brotes dentro de 14 días; observándose que el Geranio tiende a acumular mayor cantidad de Pb en la parte radicular en comparación con la parte aérea; a diferencia del estudio realizado por Gul et al. (2018) donde *P. hortorum* acumulo 50.9% de plomo en brotes y 42.2% en raíces, en suelo con concentración mayor de 1500 mg/kg de Pb con adición de 5 mmol/kg EDTA. La acumulación en mayor cantidad en brotes podría deberse a que en este estudio añaden el agente quelante EDTA, a diferencia de este estudio donde no se agregó compuesto adicional.

## 4.5.2 *Análisis en Tradescantia Pallida*

### 4.5.2.1 **Análisis en la Parte Radicular de Tradescantia Pallida**

#### 4.5.2.1.1 *Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA*

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 60. Test ANOVA para análisis en la parte radicular de Tradescantia Pallida

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	4130	836.676	2.96e-08 ***	
Bloques	2	0.3	0.157	0.858	
Residuals		6	1.6		

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 60 muestra en los tratamientos que el p-valor es 2.96e-08 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan la absorción en la parte radicular del Barquito Morado los 90 días del estudio.

En las repeticiones el p-valor es 0.858 ( $p > 0.05$ ) por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.5.2.1.2 *Prueba de Normalidad*

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 61. Test Shapiro-Wilk para análisis en la parte radicular de *Tradescantia Pallida*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.96293, p-value = 0.8247

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 61 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.8247 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### 4.5.2.1.3 *Homogeneidad de Varianza*

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 62. Test Homogeneidad de varianza para análisis en la parte radicular de *Tradescantia Pallida*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 3.826444, Df = 1, p = 0.05045

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 62 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor es 0.05045, por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.5.2.1.4 Comparación de Tratamientos Parte Radicular *Tradescantia Pallida*

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

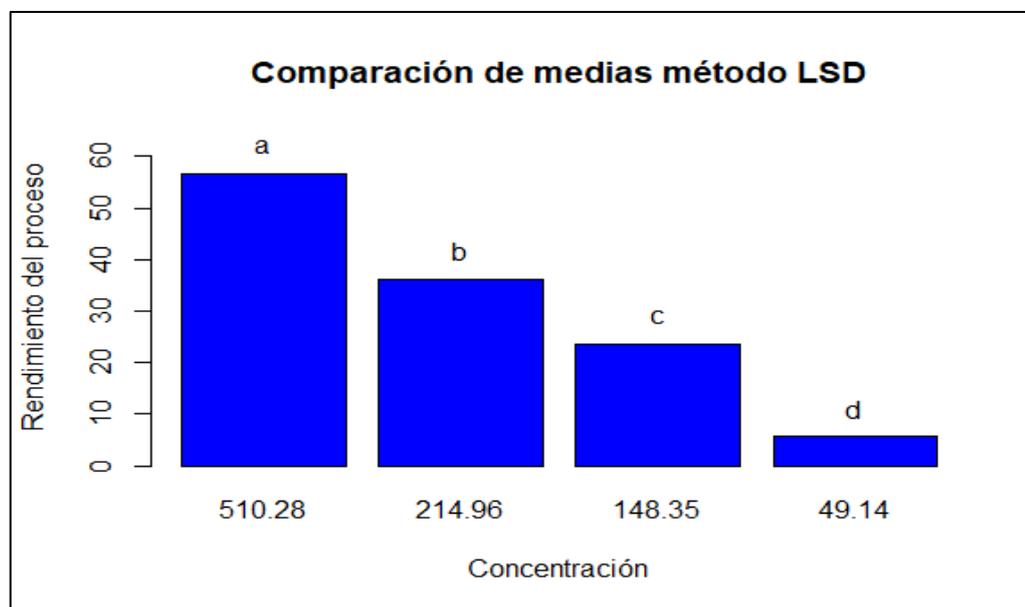
Tabla 63. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis en la parte radicular de *Tradescantia Pallida*

	AbRaiz	Groups
510.28	56.550000	a
214.96	36.063333	b
148.35	23.600000	c
49.14	5.613333	D

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 63 muestra que los tratamientos presentan significancia.

Figura 33. Comparación de medias método LSD para análisis en la parte radicular de *Tradescantia Pallida*



La figura 33 muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $p < 0.05$ ), el Tratamiento 1 (510.28 ppm de plomo) con 56.55 ppm fue el que mayor absorción presentó, seguido del Tratamiento 2 (214.96 mg/kg de plomo) con 36.06 ppm al

que le sigue el Tratamiento 3 (148.35mg/kg de plomo) con 23.60 ppm, siendo el Tratamiento 4 o suelo testigo, con un 5.61 ppm el que menor absorción presento en la raíz del Barquito Morado entre todos los tratamientos a los 90 días.

#### 4.5.2.2 Análisis en la Parte Aérea de Tradescantia Pallida

##### 4.5.2.2.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

Ho: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 64. Test ANOVA para análisis en la parte aérea de Tradescantia Pallida

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	330.3	69.226	4.79e-05 ***	
Bloques	2	0.0	0.007	0.993	
Residuals		6	1.59		

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 64 muestra en los tratamientos que el p-valor es 4.79e-05 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan la absorción de plomo en la parte aérea del Barquito Morado a los 90 días del estudio.

En las repeticiones el p-valor es 0.993 ( $p > 0.05$ ) por lo que aceptamos la  $H_0$  que nos dice, que las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

#### **4.5.2.2.2 Prueba de Normalidad**

Hipótesis:

$H_0$ : Los datos tienen una distribución normal

$H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 65. Test Shapiro-Wilk para análisis en la parte aérea de *Tradescantia Pallida*

---

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.92257, p-value = 0.3079

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 65 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.3079 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### **4.5.2.2.3 Homogeneidad de Varianza**

Hipótesis:

$H_0$ : Las varianzas es igual entre los tratamientos.

$H_a$ : Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

Tabla 66. Test Homogeneidad de varianza para análisis en la parte aérea de *Tradescantia Pallida*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 2.038474, Df = 1, p = 0.15336

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 66 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor es 0.15336 mayor a 0.05 ( $p > 0.05$ ), por lo cual aceptamos la  $H_0$ , con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### 4.5.2.2.4 *Comparación de Tratamientos Parte Aérea Tradescantia Pallida*

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

Tabla 67. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis en la parte aérea de *Tradescantia Pallida*

---

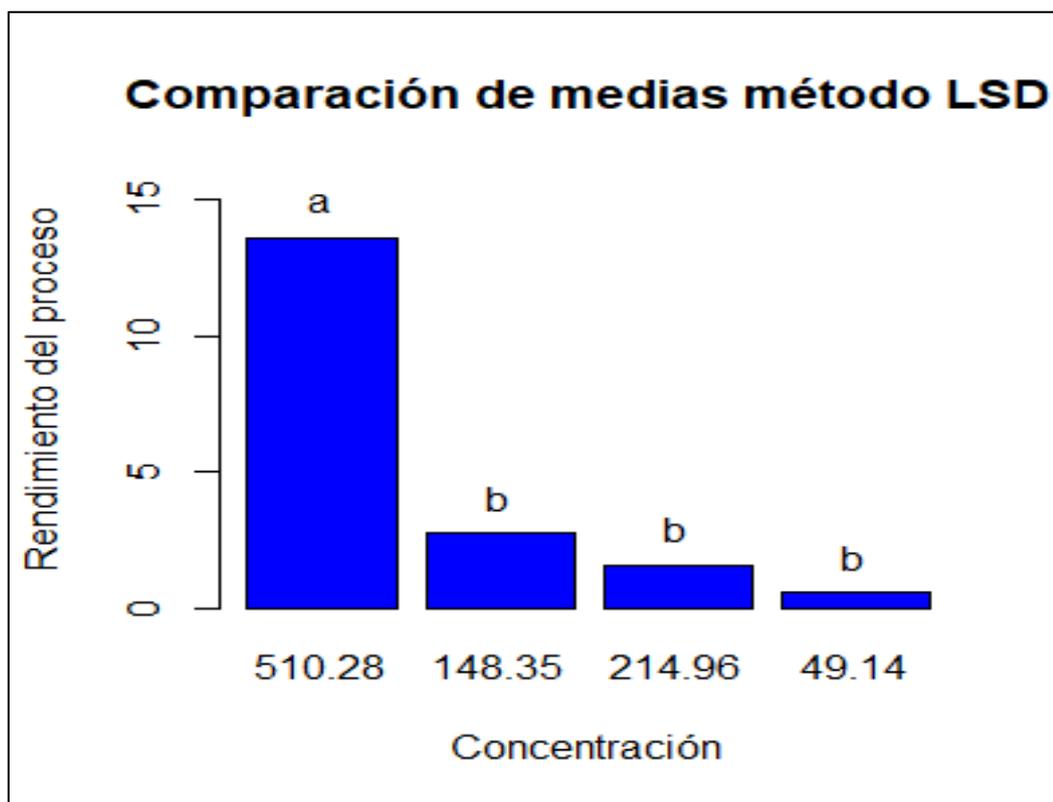
	THfl	Groups
510.28	13.600000	A
148.35	2.726667	B
214.96	1.583333	B
49.14	0.540000	B

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 67 muestra que los tratamientos 2, 3 y 4 son semejantes en sus medias por lo que están descritos con la letra b, mientras que el tratamiento 1 descrito con la letra a difiere de b en al menos 2.519525 entre grupos.

Figura 34. Comparación de medias método LSD para análisis en la parte aérea de Tradescantia Pallida



La figura 34 muestra que no existe diferencia significativa ( $p>0.05$ ), no hay diferencia de medias entre el Tratamiento 2 (214.96 ppm de plomo) con 2.72 ppm, el Tratamiento 3 (148.35 ppm de plomo) con 1.58 ppm y el Tratamiento 4 o suelo testigo, con 0.54 ppm el que menor absorción de plomo en planta presento. Mientras que si existe diferencia significativa ( $p<0.05$ ) respecto al Tratamiento 1 (510.28 ppm de plomo) con un 13.60 ppm fue el que mayor absorción presento en tallos, hojas y flores del Barquito Morado.

#### 4.5.2.3 Análisis en el Total de la Planta Tradescantia Pallida

##### 4.5.2.3.1 Análisis de Varianza del Modelo - ANOVA

Hipótesis:

H<sub>0</sub>: Los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

H<sub>a</sub>: Los tratamientos afectan el rendimiento del proceso.

Ho: Las repeticiones no afectan el rendimiento del proceso.

Ha: Las repeticiones afectan el rendimiento del proceso.

Tabla 68. Test ANOVA para análisis en el total de la planta *Tradescantia Pallida*

Coefficients:					
Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Concent	3	6450	3048.781	6.16e-10 ***	
Bloques	2	0	0.333	0.729	
Residuals		6	4	0.7	

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 68 muestra en los tratamientos que el p-valor es 6.16e-10 ( $p < 0.05$ ) por lo que se rechaza la Ho y aceptamos la Ha que nos dice, que los tratamientos afectan el rendimiento del proceso, quiere decir que las concentraciones de Pb afectan la absorción en el total de la planta Barquito Morado a los 90 días del estudio.

En las repeticiones el p-valor es 0.729 ( $p > 0.05$ ) por lo que aceptamos la Ho que nos dice, que los tratamientos no afectan el rendimiento del proceso.

#### 4.5.2.3.2 Prueba de Normalidad

Hipótesis:

Ho: Los datos tienen una distribución normal

Ha: Los datos no tienen una distribución normal.

Tabla 69. Test Shapiro-Wilk para análisis en el total de la planta *Tradescantia Pallida*

Shapiro-Wilk normality test
data: rstandard(Modelo)
W = 0.96051, p-value = 0.791

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 69 muestra la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk donde el p-valor 0.791 es superior al nivel de significancia por lo tanto decimos que los datos obedecen a una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente.

#### **4.5.2.3.3 Homogeneidad de Varianza**

Hipótesis:

Ho: Las varianzas es igual entre los tratamientos.

Ha: Las varianzas no es igual entre los tratamientos.

*Tabla 70. Test Homogeneidad de varianza para análisis en el total de la planta Tradescantia Pallida*

---

Non-constant Variance Score Test
Variance formula: ~ fitted.values
Chisquare = 1.2468, Df = 1, p = 0.26416

---

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 70 muestra la prueba de homogeneidad de varianza donde el p-valor es 0.26416 mayor a 0.05, por lo cual aceptamos la Ho, con lo cual decimos que la homogeneidad de varianzas se cumple, siendo igual entre los tratamientos.

#### **4.5.2.3.4 Comparación de Tratamientos Aérea – Radicular Tradescantia Pallida**

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

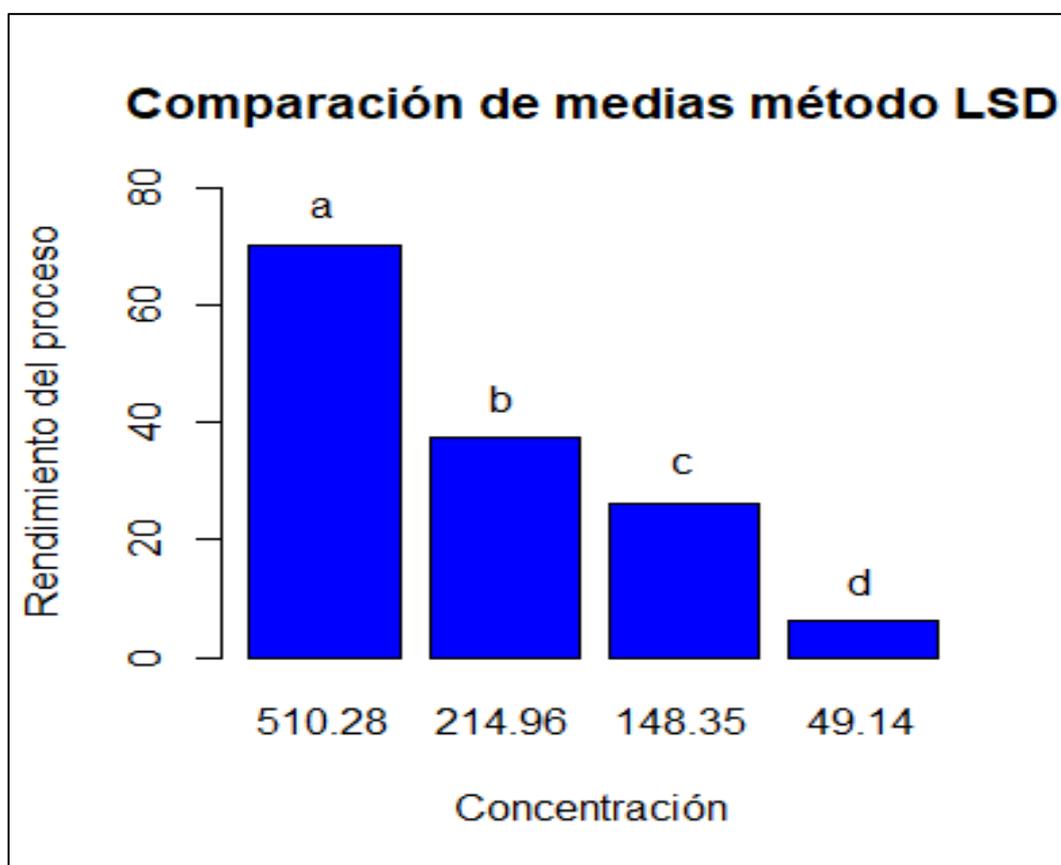
Tabla 71. Comparación de medias LSD de Fisher para análisis en el total de la planta *Tradescantia Pallida*

	PbTot	Groups
510.28	70.150000	A
214.96	37.646667	B
148.35	26.326667	C
49.14	6.153333	D

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 71 muestra que los tratamientos presentan significancia.

Figura 35. Comparación de medias método LSD para análisis en el total de la planta *Tradescantia Pallida*

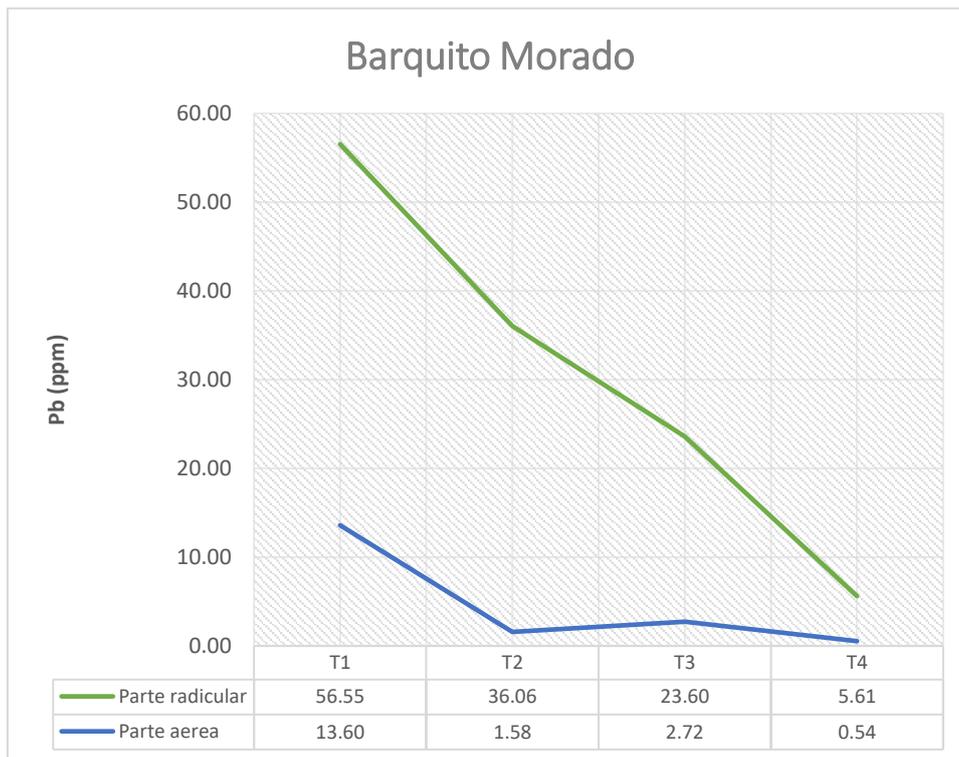


La figura 35 muestra que existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos ( $p < 0.05$ ), el Tratamiento 1 (510.28 ppm de plomo) con 70.15 ppm fue el que mayor p absorción presento, seguido del Tratamiento 2 (214.96 ppm de plomo) con un 37.65 ppm al que le sigue el Tratamiento 3 (148.35 ppm de plomo) con un 26.33 ppm, siendo el

Tratamiento 4 o suelo testigo, con 6.15 ppm el que menor absorción en el total de la planta presento entre todos a los 90 días, observa que la especie *Tradescantia Pallida* a mayor concentración de plomo presenta mayor absorción en la planta, esto contrasta con el resultado de Pajoy, (2017) donde la mayor absorción de plomo se dio en parcelas que contenían menor concentración de plomo en suelo, el cual se dio en la parcela que contenía 236.39 ppm de Pb en suelo.

#### 4.5.2.3.5 Comparación de Tratamientos Parte Aérea – Radicular de la *Tradescantia Pallida*

Figura 36. Comparación de la parte aérea y radicular de la *Tradescantia Pallida*



La figura 36 muestra cuanto absorbió tanto en la parte aérea y radicular la *Tradescantia Pallida*, observándose T1 con 56.55 ppm de plomo en la parte radicular y 13.60 ppm en la parte aérea, el T2 con 36.06 ppm de plomo en la parte radicular y 1.58 ppm en la parte aérea, el T3 con 23.60 ppm de plomo en la parte radicular y 2.72 ppm en la parte aérea,

el T4 con 5.61 ppm de plomo en la parte radicular y 0.54 ppm en la parte aérea. Se observa de manera muy notoria que la parte radicular tuvo mayor absorción de contenido de plomo en comparación con la parte aérea de la planta en el periodo de 90 días, y que esta acumulación de plomo se dio en mayor cantidad en los tratamientos que contenían mayor concentración de Pb, esta mayor acumulación de metales en las raíces puede atribuirse a la formación de complejos entre ellos y grupos sulfhidrilo a nivel celular, lo cual resulta en menor transporte de los metales pesados a las partes aéreas. Este resultado se asemeja a la investigación realizada por Pajoy Muñoz (2017) de Potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como alternativa de tratamiento de suelos contaminados con metales pesados en el cual obtuvieron como resultado que la especie *Tradescantia Pallida* tuvo mayor cantidad de plomo en la raíz con 177.70 ppm de plomo en la planta y menor cantidad de plomo en la parte aérea con 6.29 ppm de plomo en la planta, y la mayor acumulación de plomo se dio en las parcelas que contenían menor concentración de plomo. Los resultados muestran que la especie *Tradescantia Pallida* tuvo mayor acumulación de Pb en la parte radicular en comparación con la parte aérea de la planta.

#### **4.5.3 Comparación de Absorción de Plomo entre “*Pelargonium Hortorum*” y “*Tradescantia Pallida*”**

##### **4.5.3.1 Método LSD de Fisher para la Comparación de Absorción entre “*Pelargonium Hortorum*” y “*Tradescantia Pallida*”**

Para analizar si existe una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se usó el método LSD de Fisher.

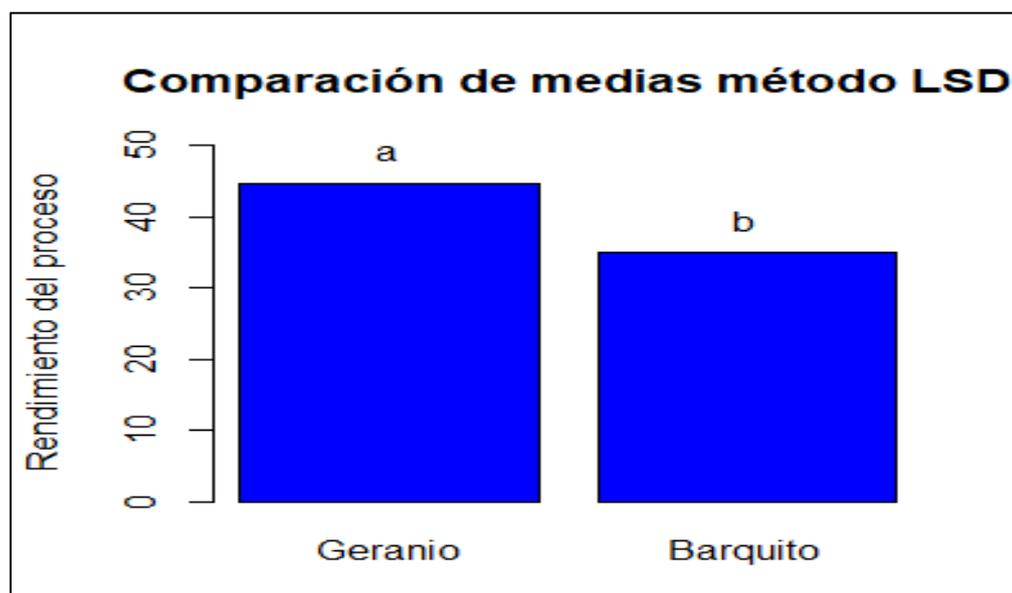
Tabla 72. Comparación de medias LSD de Fisher de porcentaje de absorción entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*

	PbTot	Groups
Geranio	44.57167	A
Barquito	35.06917	B

Fuente: Programa estadístico R

La tabla 72 muestra que el porcentaje de absorción de Pb total presentan diferencia significativa entre los grupos.

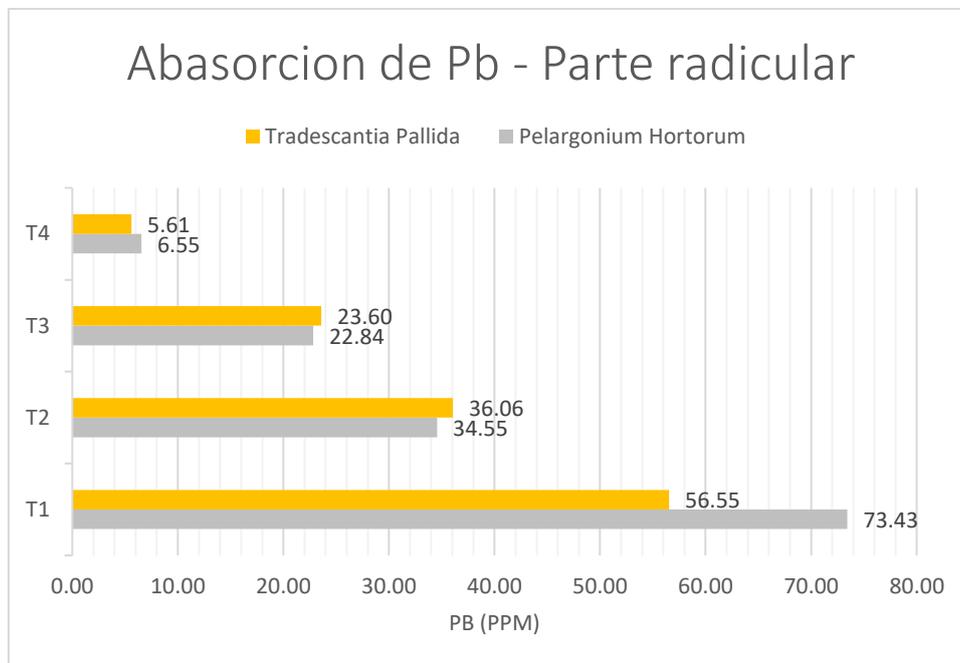
Figura 37. Comparación de medias método LSD de porcentaje de absorción de plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida*



La figura 37 muestra existe diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre las plantas, donde *Pelargonium Hortorum* tiene 44.57 % y *Tradescantia Pallida* tiene 35.06 %, se puede observar que el Geranio presenta mayor porcentaje de absorción en comparación con el Barquito morado que presenta menor porcentaje de absorción al final del tratamiento.

### 4.5.3.2 Comparación de Absorción de Plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* – Parte Radicular

Figura 38. Absorción de Pb - Parte radicular

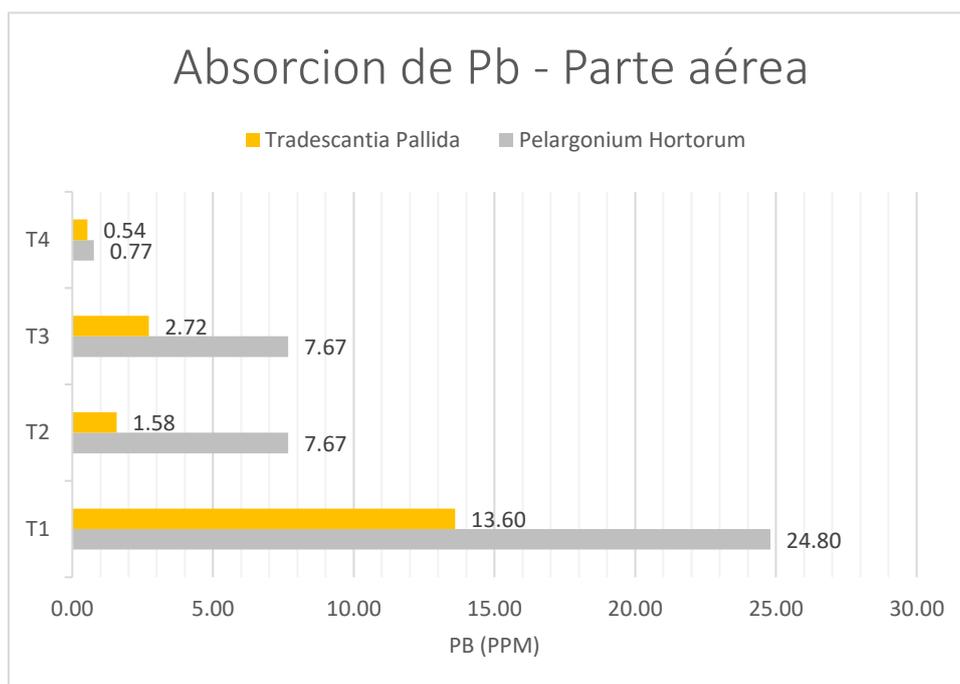


La figura 38 se observa el Tratamiento 1 donde las plantas *Tradescantia Pallida* y *Pelargonium Hortorum* acumularon mayor cantidad de plomo 56.55 ppm y 73.43 ppm respectivamente en la raíz de la planta, entre las dos plantas esta última fue la que presentó mayor absorción de metal, en el Tratamiento 2 la *Tradescantia Pallida* acumula 36.06 ppm y la *Pelargonium Hortorum* acumula 34.55 ppm de plomo en la raíz, en el Tratamiento 3 la planta la *Tradescantia Pallida* acumula 23.60 ppm de plomo y la *Pelargonium Hortorum* acumula 22.84, presentando en ambos tratamientos una ligera mayor acumulación el barquito morado, en el tratamiento 4 la planta *Pelargonium Hortorum* acumuló 6.55 ppm y la *Tradescantia Pallida* acumuló 5.61 ppm de plomo. Estos resultados muestran que ambas plantas tienden a acumular metal en la raíz, siendo la especie *Pelargonium Hortorum* quien presentó mayor absorción del metal en la raíz de la planta diferenciándose por mucha

cantidad de la *Tradescantia Pallida*. Las raíces fueron los órganos donde se registró la mayor concentración de todos los metales lo cual se da comúnmente en las plantas (Isaza Guzmán, 2013). Por otro lado, es también conocido que el crecimiento de la parte aérea es más sensible a los metales pesados, a pesar de las bajas concentraciones de metales registradas en los órganos aéreos comparados con las raíces; en este sentido, se ha hipotetizado que las raíces podrían tener un papel importante en la retención de metales evitando que un exceso de estos llegue a las partes aéreas (Cahuana & Aduvire, 2019).

#### 4.5.3.3 Comparación de Absorción de Plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* – Parte Aérea

Figura 39. Absorción de Pb - Parte aérea

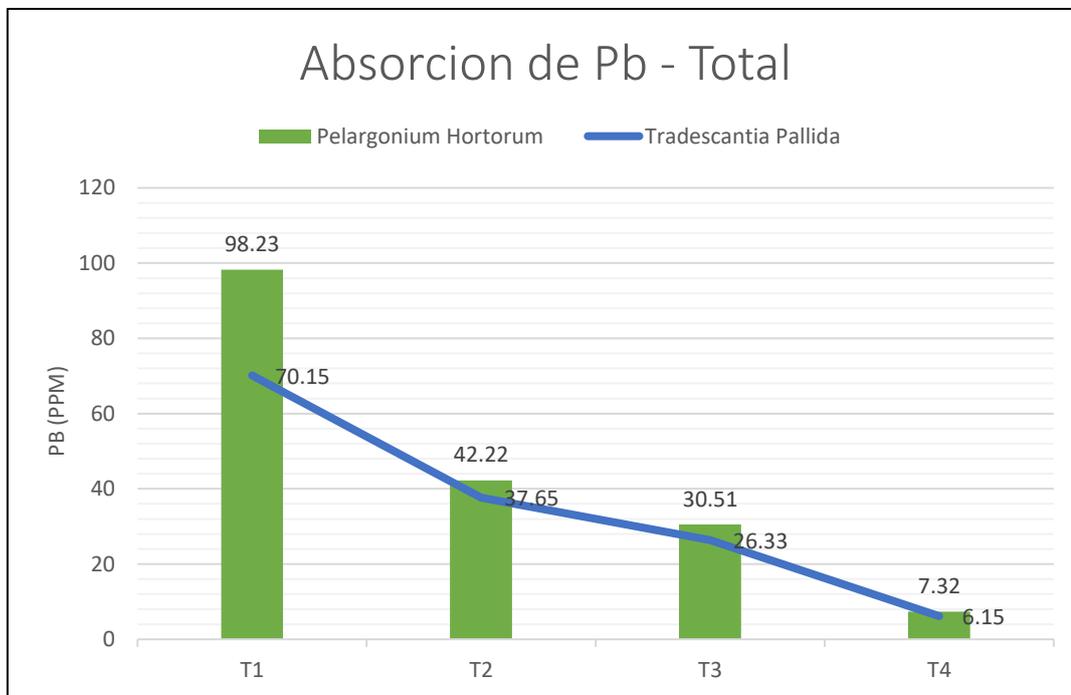


La figura 39 muestra que en el Tratamiento 1 las plantas *Tradescantia Pallida* y *Pelargonium Hortorum* acumularon mayor cantidad de plomo 13.60 ppm y 24.80 ppm respectivamente en la parte aérea de la planta ( tallos, hojas y flores), entre las dos especies

esta última fue la que presentó mayor absorción de metal, en el Tratamiento 2 la *Tradescantia Pallida* acumula 1.58 ppm y la *Pelargonium Hortorum* acumula 7.67 ppm de plomo, en el Tratamiento 3 la planta la *Tradescantia Pallida* acumula 2.73 ppm de plomo y la *Pelargonium Hortorum* acumula 7.67, en el tratamiento 4 la planta *Pelargonium Hortorum* acumulo 0.77 ppm y la *Tradescantia Pallida* acumulo 0.54 ppm de plomo. Los resultados mostraron que en el T1 el cual tiene una alta concentración de Pb en suelo, es donde hay mayor concentración de Pb en la parte aérea, observándose bajas concentraciones en los tratamientos T2, T3 y T4 en ambas especies, indicando que a altas concentraciones operaría algún mecanismo de exclusión (Estaún et al., 2010). A esto puede deberse que al momento de la cosecha las plantas del T1 tuvieran efectos más nocivos en las hojas y flores. Esto último contrasta con lo informado por Ramírez Gottfried et al. (2019) quienes encontraron que las concentraciones de metales en hojas aumentarían a medida que las hojas envejecen debido transporte pasivo dentro de mismas, ya que el movimiento de los metales hacia las hojas más viejas sería una forma que tienen las plantas de eliminar parte de la carga metálica.

#### 4.5.3.4 Comparación de Absorción de Plomo entre *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* – Total de la Planta

Figura 40. Absorción de Pb - Total de las plantas



La figura 40 muestra la absorción de Pb de las dos especies *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* en cada tratamiento, donde se observa que los tratamientos con la especie *Pelargonium Hortorum* fueron los que mayor absorción del metal presentaron ya que en el T1 acumula 98.23 ppm de plomo en toda la planta (parte radicular y parte aérea), en el T2 acumula 42.22 ppm de plomo, en el T3 acumula 37.65 ppm y en el T4 acumula 7.32 ppm de plomo. La especie *Tradescantia Pallida* también presentó absorción del metal plomo, pero a concentraciones menores, en el T1 acumula 70.15 ppm de Pb, en el T2 acumula 37.65 ppm de plomo, en el T3 acumula 26.33 ppm y en el T4 acumula 6.15 ppm de plomo. Esta diferencia de absorciones puede deberse a que el Geranio removió mayor contenido de metal del suelo en comparación con el Barquito Morado.

#### 4.6 Resumen de Remoción y Absorción de Pb de las Especies

Tabla 73. Resumen de remoción y absorción de Pb

		Pb suelo (ppm)		Remoción (ppm)	Pb planta (ppm)		Absorción (ppm)
		Inicial	Final		Inicial	Final	
Geranio	T1	510.28	241.82	268.46	3.29	101.52	98.23
	T2	214.96	119.51	95.45	3.25	45.47	42.22
	T3	148.35	86.58	61.77	3.26	33.77	30.51
	T4	49.14	39.18	9.96	3.25	10.57	7.32
Barquito	T1	510.28	275.15	235.13	7.63	77.78	70.15
	T1	214.96	131.84	83.12	7.66	45.3	37.64
	T3	148.35	95.24	53.11	7.64	33.96	26.32
	T4	49.14	41.61	7.53	7.62	13.77	6.15

Fuente: Propio

La tabla 73 muestra de forma resumida las medias de los resultados de remoción y absorción de Pb los tratamientos con cada especie. Se observa la mayor remoción se dio con la especie del *Pelargonium Hortorum* en el tratamiento 1 con un resultado de 268 ppm de Pb, que representa el 52.61% de disminución de la cantidad de metal, así también la mayor absorción se dio con esta misma especie en el tratamiento 1 habiendo acumulado 98.23 ppm de Pb en planta.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

El estudio de evaluación de la Capacidad Fitorremediadora de las especies *Tradescantia Pallida* y *Pelargonium Hortorum* en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo – Lima, evidencio las dos especies tienen capacidad de acumular plomo en sus tejidos, sin embargo, la mejor eficiencia se obtuvo con el *Pelargonium Hortorum*, especie que tuvo mayor porcentaje de remoción en el T1 (52.61%) y presento mayor absorción de Pb en la parte radicular de la planta llegando a acumular 73.43 ppm en el T1, mientras que la especie *Tradescantia Pallida* tuvo mayor porcentaje de remoción en el T1 (46.08 %) y presento mayor absorción de Pb en la parte radicular acumulando 56.55 ppm en el T1.

Las especies *Pelargonium Hortorum* y *Tradescantia Pallida* presentaron un crecimiento y desarrollo morfológico diferente, la especie *Tradescantia Pallida* aumento una altura de 27.33 cm y un área foliar 11.17cm en el tratamiento 4 (suelo testigo), presentando mayor tamaño de tallo y área foliar en los cuatro tratamientos en comparación con *Pelargonium Hortorum*, siendo el tratamiento control el que presento un desarrollo más optimo, mientras que la especie *Pelargonium Hortorum* presento mayor tamaño de crecimiento de raíz en los cuatro tratamientos, estas diferencias entre las dos especies se deben a las características morfológicas propias de cada especie. Se vio afectado el crecimiento y desarrollo de ambas especies ante el exceso de metal pesado, puesto que en los tratamientos con mayor contenido de plomo presentaron decrecimiento del área foliar, área de flores, altura y diámetro del tallo respecto al tratamiento control, además menor cantidad de hojas y mayor presencia de hojas enfermas y hojas muertas en ambas especies.

La remoción del plomo en suelo de las especies por comparación de concentración pre y post tratamiento, se encontró que la especie *Pelargonium Hortorum* en el T1 presento una remoción de 52.61 %, en el T2 presento remoción del 44.40 %, en el T3 presento remoción del 41.64 %, en el T4 presento remoción 20.27%, mientras que *Tradescantia Pallida* en el T1 presento una remoción de 46.08 %, en el T2 presento remoción del 38.67 %, en el T3 presento remoción del 35.80 % y en el T4 presento remoción 15.33 % al finalizar la experimentación; demostrando que la especie *Pelargonium Hortorum* fue quien removió más plomo del Suelo.

En la absorción de plomo de las especies se encontró que la especie *Pelargonium Hortorum* presento valores de absorción de 73.43 ppm en el T1, 34.55 ppm en el T2, 22.84 ppm en el T3, 6.55 ppm en el T4 en la parte radicular, a diferencia de la parte aérea donde presento 24.80 ppm en el T1, 7.67 ppm en el T2, 7.67 ppm en el T3, 0.77 ppm en el T4, presentando mayor absorción de plomo en la parte radicular de la planta. La especie *Tradescantia Pallida* presento valores de absorción de 56.55 ppm en el T1, 36.06 ppm en el T2, 23.60 ppm en el T3, 5.61 ppm en el T4 en la parte radicular, a diferencia de la parte aérea donde presento 13.60 ppm en el T1, 1.58 ppm en el T2, 2.72 ppm en el T3, 0.54 ppm en el T4, presentando mayor absorción en la parte radicular al finalizar la experimentación. La especie *Pelargonium Hortorum* tuvo 44.57 % presentando mayor porcentaje en comparación con la *Tradescantia Pallida* que tuvo 35.06 % menor porcentaje de absorción al final del tratamiento.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda contar con información relevante de la zona de estudio, para ello la revisión bibliográfica debe ser minuciosa y basarse en fuentes confiables ya sea antecedentes, artículos científicos, entre otros.
- Realizar estudios in situ para poder ver si el clima afecta en algo directamente en el desarrollo de las especies.
- Realizar estudios con uso de enmiendas orgánicas para evaluar si el proceso de fitorremediación resulta más efectivo y a la vez realizarlo por un tiempo prologando.
- Realizar plantaciones de las especies por periodos continuos hasta lograr una disminución de plomo que logre cumplir con el ECA-Suelo.
- Se recomienda que las plantas empleadas en la etapa de experimentación sean dispuestas correctamente, debido a no poder ser usadas nuevamente.

## REFERENCIAS

- Abanto, S. E., & Carrera, N. (2018). *Niveles de Acumulacion de Plomo por las Raices y Tallo de Cortadertia rudiuscula Stapf “cortadera”, en condiciones de Laboratorio.*
- Abrego, F. (2012). Capacidad De Intercambio Catiónico. *Calidad Ambiental de Suelos*, 1–25.  
[https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/\\_archivos//002012\\_Ronda 2012/000300\\_Lic. Fabio L. Abrego - UNNOBA/000300\\_Determinación de CIC.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos//002012_Ronda 2012/000300_Lic. Fabio L. Abrego - UNNOBA/000300_Determinación de CIC.pdf)
- Alonso, V. (2015). *RIZOFILTRACIÓN DE PLOMO DEL AGUA DE LA PISCINA DE RELAVES DE LA MINERA ORENAS S.A. DEL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ- AZUAY, UTILIZANDO Coriandrum Sativum (CULANTRO) EN HUMEDALES ARTIFICIALES (2014).* 1, 2010–2063.  
<http://weekly.cnbnews.com/news/article.html?no=124000>
- Álvarez, S., Ortuño, M. F., Rodríguez, P., Bañón, S., & Sánchez, M. J. (2009). Aspectos fisiológicos y ornamentales de plantas de geranio en condiciones de consumo hídrico limitado durante la fase de floración. *Plantflor*, 131, 70–73.  
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/145990/1/Aspectos>
- Amones, R. M., & Barja, M. R. (2019). *Capacidad de acumulación de plomo de las especies adventicias Amaranthus quitensis, Chenopodium ambrosioides y Tagetes minuta en diferentes tipos de suelos.*  
[https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2980/Ruth\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/2980/Ruth_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Aransiola, S. A., Joshua, U., Ijah, J., & Abioye, O. P. (2013). Phytoremediation of Lead

Polluted Soil by Glycine max L . *Hindawi Publishing Corporation Applied and Environmental Soil Science, Cdc.*

Arias-Trinidad, A., Rivera-Cruz, M. del C., Roldán-Garrigós, A., Aceves-Navarro, L. A., Quintero-Lizaola, R., & Hernández-Guzmán, J. (2017). Uso de *Leersia hexandra* (Poaceae) en la fitorremediación de suelos contaminados con petróleo fresco e intemperizado. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 21–30.  
<https://doi.org/10.15517/rbt.v65i1.22967>

Avelino, C. G. (2013). *Eficacia de la Fitoextraccion para la Remediacion de Suelos Contaminados en Villa de Pasco.*

Barrio, N. (2017). *Metales pesados en suelos y sus efectos sobre la salud.*  
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/NOELIA>

Beltrán Pineda, M. E., & Gómez Rodríguez, A. M. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Facultad de Ciencias e Ingeniería*, 2, 82–113.

Bernal, M. P., & Carpeda, R. O. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 16(2), 1–3.

Bonilla, S. M. (2013). *Estudio para Tratamientos de Biorremediacion de Suelos Contaminados con Plomo, utilizando el Metodo de Fitorremediacion.*  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/6/UPS-ST000985.pdf>

Bower, N. W., Reuer, M. K., Koball, J. H., Hinostroza, E., De la Torre Marcas, M., Surichaqui, J. A., & Echevarria, S. (2012). Lead, Arsenic, and Cadmium Contamination and Its Impact on Children's Health in La Oroya, Peru. *ISRN Public Health*, 1–12.

<https://doi.org/10.5402/2012/231458>

Burger, M., & Pose, R. (2010). *Plomo, Salud y Ambiente*. 1–248.

C.-G. Kim, J. N.B. Bell, & S. A. Power. (2003). Efectos del cadmio del suelo en las plántulas de *Pinus sylvestris* L. *Planta y Suelo*, 257, 443–449.

Cabrera Capitán, F. (2005). ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS: EL CASO DE AZNALCOLLAR. *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología*, 219–239.

Cahuana, L., & Aduvire, O. (2019). BIOACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN TEJIDOS DE VEGETACIÓN ACUÁTICA Y TERRESTRE EVALUADOS EN ÁREAS DONDE EXISTEN PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN EL PERÚ. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 4(2), 19–36.  
[https://www.latam.srk.com/sites/default/files/file/LCahuana-OAduvire\\_Bioacumulacion\\_de\\_metales\\_pesados\\_en\\_tejidos\\_de\\_vegetacion\\_2018.pdf](https://www.latam.srk.com/sites/default/files/file/LCahuana-OAduvire_Bioacumulacion_de_metales_pesados_en_tejidos_de_vegetacion_2018.pdf)

Callupe Mudarra, Y. S., & Lara Ayala, A. A. (2018). *Capacidad acumuladora de mercurio y zinc por Phyllanthus nodiflora expuesta en suelos contaminados por relaves mineros*. 65.

Camarillo-Ravelo, D., Barajas-Aceves, M., & Rodríguez-Vázquez, R. (2015). Evaluación de la fitotoxicidad de jales mineros en cuatro especies empleadas como bioindicadoras de metales pesados. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(2), 133–143.

Canul, W. A. (2014). *Efecto de las Condiciones Ambientales sobre el Establecimiento y Crecimiento de Especies Nativas en un Techo Verde*.

- Carhuaricra, P. (2019). *Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, Limnobium laevigatum y Eichhornia crassipes para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa*. 155.
- Castro, J. R. (2013). *Capsicum annuum L. como Fitorremediador de Suelos Contaminados por Metales Pesados*. 83. [https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis\\_castro\\_gomez.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/portal/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_castro_gomez.pdf)
- Chavez, L. (2014). *Fitorremediación con Especies Nativas en Suelos Contaminados por Plomo*.
- CIDAP. (2009). *Principales problemas ambientales Lomas de Carabayllo*.
- Contreras, L. A., Valencia, C. M., De la Fuente, N. M., Linaje, M. S., & Trejo, R. (2016). *Estudio de Absorción, Acumulación y Potencial para la Remediación de Suelo Contaminado por Plomo usando Ambrosia Ambrosioides*. 1(1), 244–250.
- Cordero, J. K. (2015). *Fitorremediación In Situ para la Recuperación de Suelos Contaminados por Metales Pesados (plomo y cadmio) y Evaluación de Selenio en la Finca Furatena Alta en el Municipio de Utica (Cundinamarca)*.
- Coto Marrero, J., Sanchez Amores, I., & Pérez Coto, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA : Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 46(3), 52–61.
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7–21.

<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>

Coyago, E., & Bonilla, S. (2016). Absorción de Plomo de Suelos altamente contaminados en Especies Vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja*, 23(1), 35–46. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.04>

de carabayllo Municipalidad de Carabayllo, L. (2015). *Plan de Desarrollo Concertado de Lomas de Carabayllo*.

De la Rosa, D. A., Teutli, M. M. M., & Ramírez, M. E. (2007). Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 129–138. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992007000300003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992007000300003)

Dominguez Buitrago, E. Z. (2018). EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BIOINDICADORA DE LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR OXIDO DE MERCURIO EN TRES ESPECIES DE PLANTAS ORNAMENTALES. *Universidad Santo Tomás*, 121.

Dueñas, J. (2015). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de Inga edulis mart, en una área degradada por minería aurífera en el distrito Inambari, provincia Tambopata, región de Madre de Dios*.

Estaún, V., Cortés, A., Velianos, K., Camprubí, A., & Calvet, C. (2010). Effect of chromium contaminated soil on arbuscular mycorrhizal colonisation of roots and metal uptake by *Plantago lanceolata*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(SPL ISS.), 109–115. <https://doi.org/10.5424/sjar/201008s1-1229>

- Estrada, A., Gallo, M., & Nuñez, E. (2016). *Contaminacion Ambiental: su influencia en el ser humano, en especial el Sistema Reproductor Humano*. 80–86. <http://rus.ucf.edu.cu/>
- Etim, E. E. (2012). Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy International Journal of Environment and Bioenergy* *Journal Homepage: Www.ModernScientificPress.Com*, 2(3), 120–136.
- Falcon. (2017). Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con *Zea mays* L. en la estación experimental el Mantaro - Junin” en el año 2016. *Universidad Nacional Del Centro Del Peru*, 135.
- Farraji, H., Mohd, R., Qamaruz, N., & Fajari, H. (2016). Advantages and Disadvantages of Phytoremediation A concise review. *International Research Journal of India*, 1(VIII), 1–3. [https://doi.org/10.1300/J081V03N03\\_08](https://doi.org/10.1300/J081V03N03_08)
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Macla*, 10, 48–60.
- Galarza, E., & Gómez, R. (2017). ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES URBANOS. *Human Ecology: Problems and Solutions*, 3(1).
- Gallardo Quinteros, S. A. (2019). *Propuesta de Fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de Helianthus annuus L en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador*. 48.
- Gallegos, M., Perez, L., Gutierrez, M., & Lopez, S. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 21, June.

- Garbisu, C., Epelde, L., & Becerril, J. M. (2008). Fitorremediación. In *Ecologistas en Acción*.
- García-Gil, L. J., Pibernat i Valés, I., & Abellà Ametller, C. (1991). *Descripció d'un model experimental de columna de Winogradsky. Paràmetres físics i químics*. <http://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/5313>
- García, C., Moreno, J., Hernández, M., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente- CCMA-CSIC*, 2(1), 125–138. <http://hdl.handle.net/10261/111812>
- García, E. L. (2011). *Fitoextracción de plomo de un suelo contaminado, por plantas con diferente densidad estomática*. 55.
- Gonzales, J., Acebedo, J., Armas, C., Custodio, M., García, M., Gonzales, A., León, B., Méndez, L., Paredes, E., Tuesta, M., & Vásquez, M. (2016). *Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales; “girasol”, “alfalfa”, “geranio” e “higuerilla.”* 1–12.
- Gonzalez, J. D. (2010). *Fitorremediación: Una Herramienta Viable para la Descontaminación de Aguas y Suelos*. 1–52.
- Gul, I., Manzoor, M., Silvestre, J., Rizwan, M., Hina, K., Kallerhoff, J., & Arshad, M. (2018). EDTA-Assisted Phytoextraction of Lead and Cadmium by Pelargonium Cultivars Grown on Spiked Soil. *International Journal of Phytoremediation*, 21.
- Henry, J. R. (2000). *An Overview of the Phytoremediation of Lead and Mercury Prepared By Technology Innovation office*. August, 1–31.

- Huerta, K. V. (2019). *Evaluación de la biorremediación y fitorremediación para la absorción de PB en suelos contaminados por relave minero*.  
<http://repositorio.cientifica.edu.pe:8080/handle/UCS/710>
- INEI. (2018). Perú: Características de las viviendas particulares y hogares. Acceso a servicios básicos. In *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas* (p. 602).  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1538/Libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/Libro.pdf)
- Isaza Guzmán, G. (2013). *Effect of lead on imbibition, germination, and growth of Phaseolus vulgaris L. and Zea mays L.* 13(3), 161–167.
- Jankaite, A., & Vasarevičius, S. (2005). Remediation technologies for soils contaminated with heavy metals. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 13(2), 109–113. <https://doi.org/10.1080/16486897.2005.9636854>
- Krishnaraj, S., Dan, T. V., & Saxena, P. K. (2002). Cadmium and Nickel Uptake and Accumulation in Scented Geranium (pelargonium sp. ‘frensham’). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 3, 239–248. <https://doi.org/10.1023/A>
- La Rotta, A., & Torres, M. (2017). *Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud . El caso de Potosí en Bogotá*. 77–91. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>
- Lago, M. (2018). Biodisponibilidad de Metales Pesados en Suelos Contaminados. In *經濟研究*.

- Ley N° 28271, M. (2004). Ley 28271 - Ley que regula los pasivos ambientales de la Actividad Minera. *Minam*, 53(9), 1–30. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Liang, L., Liu, W., Sun, Y., Huo, X., Li, S., & Zhou, Q. (2017). Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Saline Soils Using Halophytes: Current Progress and Future Perspectives. *Environmental Reviews*, 25(3), 269–281. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0063>
- Liu, L., Li, W., Song, W., & Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. *Science of the Total Environment*, 633, 206–219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Lopez, P. R. (2011). *Fitorremediacion en los Suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochiri-Lima*.
- Mahdieh, M., & Yazdani, M. (2013). The high potential of *Pelargonium roseum* plant for phytoremediation of heavy metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(9), 7877–7881. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3141-3>
- Marise, B. (2002). *Biotecnología Aplicada a Mejora de Pelargonium*.
- Medina, K. D., & Montano, Y. N. (2013). *Determinación del Factor de Bioconcentración y Traslocación de Metales Pesados en el juncus arcticus willd. y cortaderia rudiusscula stapf, de Areas Contaminadas con el Pasivo Ambiental Minero Alianza - Ancash 2013*.

- Municipalidad de Carabayllo. (2010). *Plan Urbano Del Distrito de Carabayllo* (p. 69).
- Muñoz, L., Nevarez, G., Peralta, M., & Ballinas, M. de L. (2010). *Fitorremediación como una Alternativa para el Tratamiento de Suelos Contaminados*. January 2019.
- Núñez, M., Mazorra, L. M., Reyes, Y., & Martínez, L. (2010). Los Brasinoesteroides Y Las Respuestas De Las Plantas a Estrés Abióticos. Una Visión Actualizada. *Cultivos Tropicales*, 31(2), 56–65.
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olgún, E. (2004). *Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones*. 69–83.
- Obeso, A., Castillo, A., Gurreonero, J., & Vejarano, R. (2016). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio (*pelargonium zonale*). *Universidad Privada Del Norte*, 01(1), 1. <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9832>
- OEFA. (2016). *La Identificación de Pasivos Ambientales de Subsector Hidrocarburos* (p. 400).
- Orellana, J. A. (2005). Contaminación (Tema 2). *Ingeniería Sanitaria UTN - FRRO*, 1–27.
- Orroño, D. (2002). *Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género Pelargonium: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad*.
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. ...*Universidad de Alcalá. Dirección General de ...*, 109. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?cnicas+de+reucp>

eraci?n+de+suelos+contaminados#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?nicas+de+recuperaci?n+de+suelos+contaminados%230

Paiva, G. M. (2015). *Fitorremediación de Suelos Contaminados con Plomo Utilizando Amaranthus Spinus – Amaranthaceae en Cusco del 2012.*

Pajoy, H. M. (2017). *Potencial Fitorremediador De Dos Especies Ornamentales como Alternativa de Tratamiento de Suelos Contaminados con Metales Pesados.*

Pajoy Muñoz, H. M. (2017). *Potencial fitorremediador de dos especies ornamentales como alternativa de tratamiento de suelos con metales pesados.* 1–143.  
<http://bdigital.unal.edu.co/61056/1/10307327.2017.pdf>

Papuico, K. Z. (2018). *Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (Senecio rudbeckiaefolius) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas.* 106.

Peralta, O. (2015). *Fitorrestauración de suelos contaminados por vanadio empleando pasto bermuda (Cynodon dactylon), malvón (Pelargonium hortorum) y graptopétalo (Graptopetalum paraguayense).*

Pernía, B., Mero, M., Muñoz, J., Bravo, K., Morán, N., Zambrano, J., Cornejo, X., Benavides, A., & Torres, G. (2016). Plantas acuáticas con potencial para fitoextracción de Cadmio en arrozales del Cantón Daule, provincia del Guayas, Ecuador. *Ciencias Naturales y Ambientales*, 10(2), 37–51.

Prieto, J., González, C. A., Román, A. D., & Prieto, F. (2009). *Contaminación y Fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua.*

- Ramírez Gottfried, R. I., García Carrillo, M., Alvares Reyna, V. D. P., González Cervantes, G., & Hernández Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(7), 1529–1540. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>
- Ramírez, S., Edmundo, C., Antonio, P., La, E. D. E., Del, C., Explotado, S., La, P., Después, M., & Sistemas, D. E. D. (2012). Soil Quality Assessment of Mined Land After Remediation Management. *Terra Latinoamericana*, *30*(3), 201–211.
- Rascio, N., & Navari, F. (2011). Heavy Metal Hyperaccumulating Plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, *180*(2), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M., & Gonzales, E. (2016). Contaminacion por Metales Pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *The Indian Journal of Pediatrics*, *24*(1), 14. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Ríos, A. (2017). “Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies *Lolium Perenne*, *Pelargonium Hortorum* Y *Fuertesimalva Echinata* en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017.” In *Universidad César Vallejo*.
- Ríos Rodríguez, A. F. (2017). Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies *Lolium Perenne*, *Pelargonium Hortorum* Y *Fuertesimalva Echinata* en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017. *Universidad César Vallejo*.

- Rodríguez de Brujón, I. (2018). Género Geranium en la Ciudad Universitaria (Campus Moncloa). In *Universidad Complutense*.  
<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/ICIAR>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. In *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura FAO*. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Rodriguez Ramos, J. (2015). *Estudio del proceso de fitovolatilización en la remoción de componentes BTEX mediante el uso de humedales construidos*.
- Rodríguez Rey, A., Cuéllar Luna, L., Maldonado Cantillo, G., & Suardiaz Espinosa, M. E. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 35(3), 251–271.
- Rodríguez Romero, A. J., Robles Salazar, C. A., Ruiz Picos, R. A., López López, E., Sedeño Díaz, J. E., & Rodríguez Durantes, A. (2014). Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitorio de la calidad del agua del rio Chalma. *Revista Internacional de Contaminacion Del Ambiente*, 30(3), 307–316.
- Ruiz, N., & Méndez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 16(3), 140–147.  
[https://doi.org/10.1007/3-540-36080-8\\_21](https://doi.org/10.1007/3-540-36080-8_21)
- Russi, D., & Allier, J. (2014). Los pasivos ambientales. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales*, 0(15), 123. <https://doi.org/10.17141/iconos.15.2003.1282>
- Sánchez Duarte, N. E., & Enrique Jara Marini, M. E. (2017). Evaluación de impacto

ambiental por metales y metaloides. *Biocencia*, 19(1), 10–16.  
<https://doi.org/10.18633/biocencia.v19i1.363>

Sarabia Meléndez, I. F., Cisneros Almazán, R., Aceves De Alba, J., Durán García, H. M., & Castro Larragoitia, J. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del valle de San Luis Potosí, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 103–113.

Sierra, R. (2006). *Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial*. 51.

Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34. <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>

Solano, A. M. (2008). *Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc*.  
<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11036/Tasm11de16.pdf?sequence=11>

Suaña, M. E. (2018). *CAPACIDAD DEL GIRASOL ( Helianthus annus L .) PARA ABSORBER CADMIO DE SUELOS CONTAMINADOS EN AMBIENTE CONTROLADO , PUNO. 051*.

Tangahu, B., Siti, S. A., Hassan, B., Mushrifah, I., Nurina, A., & Muhammad, M. (2011). A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>

Temitope, E., Abiodun, J., Vincent, T., Aluko, P., & Onyekankeya, C. (2018). Bioremediation potentials of sunflower and Pseudomonas species in soil contaminated

- with lead and zinc. *African Journal of Biotechnology*, 17(44), 1324–1330.  
<https://doi.org/10.5897/ajb2018.16523>
- Torres, N. E. (2018). *Evaluación de la Concentración de Metales Pesados como As, Cu, Cd, Hg y Pb en el botadero de Cancharani de la ciudad de Puno.*
- Trujillo, K. M. (2013). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las plantas adaptadas al entorno del relave minero de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas.* 207.  
[http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2639/T033\\_42614679\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2639/T033_42614679_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ugarte, O. M., Alfaro, M. R., Álvarez, A. M., Álvarez, J. E., Aguiar, A. M. De, Araujo, C. W., & Nascimento, D. (2015). El Níquel En Suelos Y Plantas De Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36, 25–33.
- Vangronsveld, J., Herzig, R., Weyens, N., Boulet, J., Adriaensen, K., Lelie, D. Van Der, & Mench, M. (2009). *Phytoremediation of contaminated soils and groundwater : lessons from the field.* 765–794. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0213-6>
- Velásquez, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 151–168.
- Velasquez, M., & Corzo, I. (2014). *El Plomo y sus efectos en la salud.* 8.  
<http://www.revactamedicacentro.sld.cu/index.php/amc/article/view/164/222>
- Vilcapaza, J. R. (2018). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora del Garbancillo (Astragalus arequipensis) en función de tres tipos de enmiendas orgánicas sobre la*

*remoción de mercurio del suelo contaminado por la actividad minera del centro poblado la Rinconada - Región Puno.*

Villagómez, J., Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., & Acevedo, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate Pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.

Yarasca, J. L. (2015). *Modelo Sistémico para evaluar la Recuperación de Suelos Contaminados por Plomo en el Distrito de Concepción.*  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1231/HUAMAN>

## ANEXOS

### *Anexo N° 1. Formato de observación y seguimiento de las plantas tallo - raíz.*

FICHA DE CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS							
NOMBRE: "Evaluación de la Capacidad Fitorremediadora de las Especies "Tradescantia Pallida" y "Pelargonium Hortorum" en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de							
ESTUDIANTE: Schauny Ferrua Quispe							
TRATAMIENTOS		TALLO			RAIZ		
		0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS
<b>Geranio</b>	G1A						
	G1B	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS			
	G1C						
	G2A						
	G2B						
	G2C						
	G3A						
	G3B						
	G3C						
	BG1						
	BG2						
	BG3						
<b>Barquito</b>	T1A						
	T1B						
	T1C						
	T2A						
	T2B						
	T2C						
	T3A						
	T3B						
	T3C						
	BT1						
	BT2						
	BT3						

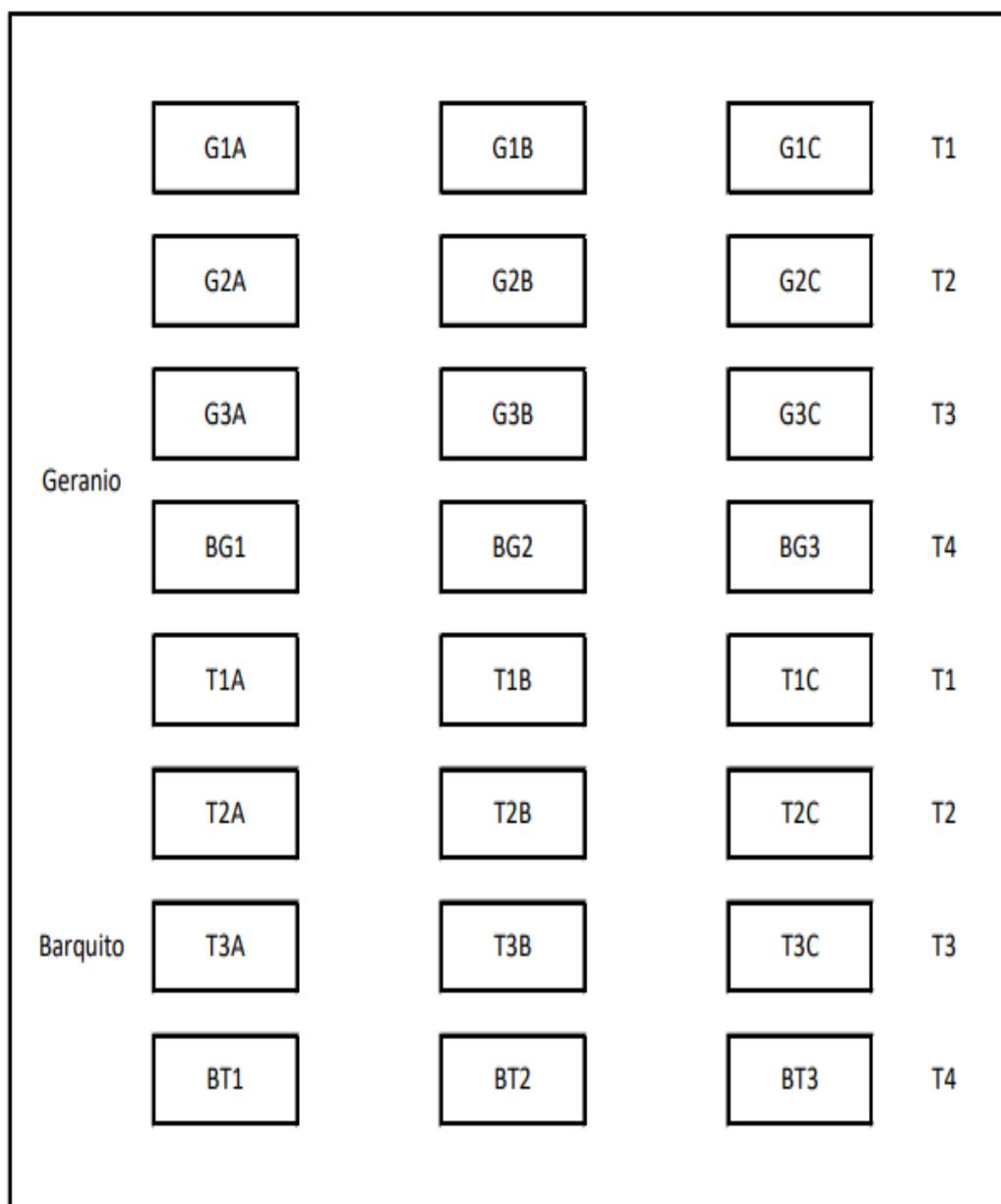
*Anexo N° 2. Formato de observación y seguimiento de las plantas área foliar – área flores*

FICHA DE CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS						
NOMBRE: "Evaluación de la Capacidad Fitorremediadora de las Especies "Tradescantia Pallida" y "Pelargonium Hortorum" en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabaylo"						
ESTUDIANTE: Schauny Ferrua Quispe						
TRATAMIENTOS	AREA FOLIAR			AREA FLORES		
	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS
<b>Geranio</b>	G1A					
	G1B					
	G1C					
	G2A					
	G2B					
	G2C					
	G3A					
	G3B					
	G3C					
	BG1					
	BG2					
	BG3					
<b>Barquito</b>	T1A					
	T1B					
	T1C					
	T2A					
	T2B					
	T2C					
	T3A					
	T3B					
	T3C					
	BT1					
	BT2					
	BT3					

*Anexo N° 3. Formato de observación y seguimiento de las plantas - hojas*

FICHA DE CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS										
NOMBRE: "Evaluación de la Capacidad Fitorremediadora de las Especies "Tradescantia Pallida" y "Pelargonium Hortorum" en suelos contaminados con plomo de la zona de las Lomas de Carabayllo"										
ESTUDIANTE: Schauny Ferrua Quispe										
TRATAMIENTOS	HOJAS									
	N° HOJAS T			ENFERMAS			MUERTAS			
	G1A	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS
<b>Geranio</b>	G1B									
	G1C									
	G2A									
	G2B									
	G2C									
	G3A									
	G3B									
	G3C									
	BG1									
	BG2									
	BG3									
	<b>Barquito</b>	T1A								
T1B										
T1C										
T2A										
T2B										
T2C										
T3A										
T3B										
T3C										
BT1										
BT2										
BT3										

Anexo N° 4. Distribución de los tratamientos



*Anexo N° 5. Muestreo en punto 1*



*Anexo N° 6. Muestreo punto 2*



*Anexo N° 7. Muestreo punto 3*



*Anexo N° 8. Sembrado de las plantas*



*Anexo N° 9. Trasplante de las plantas a bolsas*



*Anexo N° 10. Acondicionamiento de lugar de experimentación*



*Anexo N° 11. Seguimiento de plantas*



*Anexo N° 12. Proceso de crecimiento*



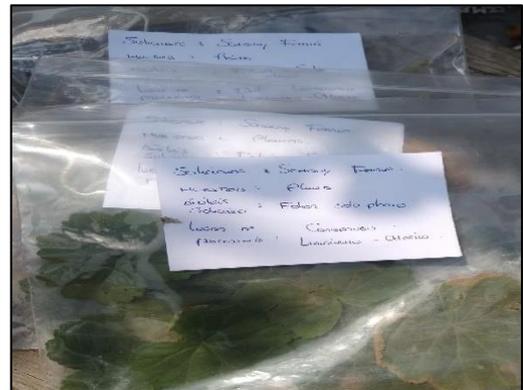
*Anexo N° 13. Comparación de tratamientos*



Anexo N° 14. Tratamientos



Anexo N° 15. Muestras finales



Anexo N° 16. Datos de desarrollo y crecimiento de las plantas

			RAIZ	PLANTA												HOJAS								
			LARGO	ALTURA DE PLANTA			DIAMETRO DE PLANTA			AREA FOLIAR			AREA FLORES			N°HOJAS TOTAL			MARCHITAS			MUERTAS		
			90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS	0 DIAS	45 DIAS	90 DIAS
Geranio	G1	G1A	8.12	9.15	16.46	21.36	2.25	4.11	6.19	2.11	4.15	7.14	0	3.11	2.75	4	14	19	0	5	7	0	3	6
		G1B	8.20	9.23	15.32	21.12	2.21	4.15	6.28	2.26	4.12	7.11	0	3.16	2.75	4	14	19	0	5	8	0	3	6
		G1C	8.16	7.19	15.24	22.18	2.29	4.22	6.12	2.29	4.26	7.23	0	3.19	2.75	4	14	19	0	5	8	0	3	7
	G2	G2A	10.97	8.12	17.39	22.33	2.23	6.14	7.17	2.21	9.22	10.19	0	4.24	3.75	4	17	21	0	3	5	0	2	5
		G2B	10.92	7.26	16.47	22.37	2.26	6.29	7.11	2.13	9.26	10.35	0	4.18	3.75	4	17	21	0	2	5	0	2	5
		G2C	10.96	8.16	16.21	23.42	2.28	6.18	7.13	2.19	9.15	10.29	0	4.28	3.75	4	17	21	0	3	5	0	2	4
	G3	G3A	16.82	9.11	18.39	25.49	2.22	7.11	8.21	2.17	10.41	11.18	0	5.22	4.12	4	18	22	0	3	4	0	2	4
		G3B	16.78	7.14	17.18	24.16	2.25	7.21	8.15	2.12	10.13	11.46	0	5.14	4.14	4	18	22	0	2	4	0	1	4
		G3C	16.65	9.21	18.41	24.33	2.27	7.19	8.26	2.16	10.31	11.38	0	5.13	4.11	4	18	22	0	2	4	0	2	4
BLANCO	BLANCO	BG1	19.50	9.18	22.37	33.15	2.24	9.14	14.33	2.13	14.28	12.34	0	6.29	4.53	4	21	27	0	2	4	0	1	3
		BG2	20.30	7.24	21.15	34.48	2.21	9.23	14.29	2.28	15.29	12.49	0	6.24	4.52	4	21	27	0	2	3	0	1	3
		BG3	20.35	8.13	22.41	34.14	2.26	9.16	14.27	2.21	14.42	12.33	0	6.11	4.51	4	21	27	0	2	3	0	1	3
Barquito	T1	T1A	7.43	11.32	23.17	33.38	2.85	4.28	5.11	4.26	8.13	11.27	0	2.19	1.76	6	19	28	0	7	11	0	5	9
		T1B	7.15	12.41	23.49	33.47	2.89	4.22	5.29	4.29	8.19	11.39	0	2.15	1.76	6	20	27	0	7	10	0	5	9
		T1C	7.22	11.21	23.42	33.18	2.81	4.12	5.22	4.19	8.22	11.44	0	2.11	1.76	6	20	28	0	6	11	0	5	7
	T2	T2A	8.71	12.35	25.11	34.12	2.88	6.26	6.17	4.12	11.32	12.39	0	3.13	2.73	6	23	30	0	6	7	0	3	7
		T2B	8.74	12.31	25.44	34.26	2.82	6.28	6.21	4.17	11.39	12.35	0	3.22	2.74	6	23	29	0	6	7	0	3	6
		T2C	8.71	12.28	25.19	34.11	2.86	6.17	6.14	4.28	11.46	12.28	0	3.17	2.74	6	23	30	0	5	7	0	4	7
	T3	T3A	16.29	12.39	26.38	35.39	2.89	7.23	7.16	4.26	12.48	12.39	0	3.23	2.91	6	25	32	0	4	6	0	3	6
		T3B	15.51	11.18	26.22	35.44	2.84	7.29	7.23	4.15	12.38	12.47	0	3.25	2.93	6	25	32	0	5	6	0	3	5
		T3C	15.35	12.26	26.44	35.29	2.87	7.19	7.28	4.12	12.21	12.36	0	3.16	2.92	6	25	32	0	5	7	0	2	6
BLANCO	BLANCO	BT1	18.91	12.43	33.48	39.22	2.83	10.21	14.32	4.18	17.36	15.35	0	4.19	3.41	6	29	35	0	4	6	0	2	3
		BT2	17.33	11.27	32.12	39.46	2.88	10.3	14.27	4.23	17.18	15.31	0	4.24	3.43	6	29	35	0	4	5	0	3	4
		BT3	18.41	12.38	32.27	39.39	2.81	10.45	14.36	4.21	17.14	15.46	0	4.21	3.42	6	28	35	0	3	5	0	2	3

Anexo N° 17. Mapa de ubicación de área de experimentación y puntos de muestreo

